

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.com

качеств, волокна из литых карбидов обладали и существенными недостатками: пористостью и небольшой механической прочностью. В связи с этим в 20-х годах текущего столетия были разработаны более эффективные твердые сплавы, полученные методом порошковой металлургии. Этот материал стал впоследствии основным в изготовлении твердосплавного долоточного инструмента.

6. ПРОГРЕСС В ОБЛАСТИ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Во второй половине XIX в. область применения цветных металлов значительно расширилась. Машиностроение, зарождавшееся электро-техническая промышленность, техника связи, приборостроение требовали все большего количества меди, цинка, олова, свинца, благородных металлов.

В описываемый период значительно расширилось производство тяжелых цветных металлов — меди, цинка, свинца, а также нового металла — никеля. Так, например, выплавка меди во всем мире достигла в 1881—1890 гг. (в среднем за год) 237,3 тыс. т. Однако уже в 1903 г. было добыто 630,6 тыс. т меди, а в 1913 г. мировое производство этого ценного цветного металла составило 1002,3 тыс. т [13, с. 37, 38]. В России в 1890 г. было выплавлено 5,7 тыс. т меди, в 1900 г. — 9,2 тыс. т, в 1913 г. — 33,5 тыс. т [8, с. 9].

Сырьем для получения тяжелых цветных металлов вначале служили главным образом монометаллические окисленные, карбидные и силикатные природные руды. До конца XIX в. по существу единственным способом получения цветных и черных металлов была пирометаллургия — совокупность металлургических процессов, протекающих при высоких температурах. Тяжелые цветные металлы плавили в шахтных и пламенных печах, конструкции которых непрерывно совершенствовались.

Истощение запасов богатых окисленных руд выдвинуло во второй половине XIX в. проблему использования более распространенных сульфидных руд, содержащих серу. Для перевода сернистых минералов в окислы металлов был использован процесс окислительного обжига, сконструированы специальные печи. В 1878 г. внедрена в практику пиритная плавка медноколчеданных руд в шахтных печах. В одном агрегате сочетались процессы окисления сульфидов и оплавления пустой породы с одновременным получением медного концентрата в промежуточном продукте — штейне [15, с. 8].

В начале 80-х годов в производство меди была внедрена продувка жидкого штейна в конвертере. При этом медь восстанавливалась до металла. Большим достижением техники цветной металлургии второй половины прошлого века стало изобретение шахтных печей ватеркакетного типа, стенки которых выкладывали из пустотелых железных блоков, охлаждаемых проточной водой. В начале 70-х годов в шахтных печах древесный уголь повсеместно стали заменять каменноугольным коксом.

С течением времени начал ощущаться недостаток и в монометаллических сульфидных рудах. Главным видом минерального сырья для получения цветных металлов стали полиметаллические сульфидные руды. Специалисты конца прошлого столетия проделали большую работу по со-

данию комплексных химико-металлургических схем переработки полиметаллических руд. Эта проблема была полностью решена в результате разработки и практического использования флотационных методов обогащения. Флотация основана на различии физико-химических свойств поверхности мелких частиц руды, содержащих металл, и пустой породы. Тонкоизмельченную руду взмучивают в резервуаре с водой, через которую пропускают пузырьки воздуха. Хорошо смачиваемые водой частицы пустой породы опускаются вниз, образуя так называемые хвосты. Плохо смачиваемые (гидрофобные) частицы руды, содержащие металл, увлекаются пузырьками воздуха на поверхность воды, образуя богатую рудой пену. Гидрофобность частиц руды усиливают, вводя в пульпу специальные реагенты в виде селективных концентратов. Это обеспечивает возможность преимущественного выделения из полиметаллических руд одного из металлов.

Флотация позволила отделить от руды основную массу пустой породы, значительно повысить содержание металла в исходном продукте, увеличить производительность плавильных агрегатов — конвертеров в медном, ватеркачете в свинцовом и реторт в цинковом производстве, удешевить тем самым производство цветных металлов.

Широкое использование флотации значительно расширило сырьевую базу цветной металлургии, однако потребовало ряда коренных изменений в технике и технологии производства цветных металлов. Переход на новый вид сырья в виде тонкоизмельченных концентратов вызвал в медном и никелевом производстве необходимость плавки флотационных концентратов в отражательных печах с получением жидкого штейна. В пирометаллургии свинца и цинка потребовалось предварительное окисковывание исходных материалов в специальных агломерационных машинах, совмещающих процессы окисления и спекания. Применение тонкоизмельченных концентратов резко увеличило потери вследствие распыления. Это потребовало создания и совершенствования специальных пылеуловительных установок в виде фильтров, циклонов и других устройств [15, с. 9].

В рассматриваемый период для извлечения цветных металлов из руд начали применять также методы гидрометаллургии, при которых содержащиеся в руде металлы растворяются специальными химическими реагентами, а затем извлекаются из растворов. Усиленно распространился цианистый процесс, предложенный еще в 1843 г. русским ученым П. Р. Багратионом. Промышленное применение цианистого процесса освоилось длительное время. Первый завод для промышленной добычи золота этим методом был построен только в 1890 г.

К концу столетия значительно расширился ассортимент цветных металлов в промышленности и других областях деятельности человека. Широкое развитие получило производство никеля, нашедшего применение в производстве специальных сталей, а также изделий, отличающихся высокими механическими, антикоррозионными, магнитными, термоэлектрическими и другими свойствами. В XIX в. получил путевку в жизнь один из важнейших металлов современности — алюминий.

Первый промышленный способ производства алюминия был предложен французским химиком А. Сент-Клер Девилем в 1854 г. Химическая сущность процесса состояла в восстановлении двойного хлорида алюминия и натрия (Na_3AlCl_6) металлическим натрием. Год спустя на Всемирной

выставке в Париже небольшие слитки алюминия фигурировали уже как продукт промышленного производства [16, с. 25, 26]. Однако химический способ получения алюминия требовал больших затрат. Поэтому за 35 лет (с 1855 по 1890 г.) было получено всего 200 т этого металла.

В 1886 г. П. Эру во Франции и Ч. Холл в США независимо друг от друга взяли почти одинаковые патенты на получение алюминия электролизом глинозема, растворенного в расплавленном криолите. Этим было положено начало современному электролитическому способу производства алюминия и созданию алюминиевой промышленности.

Электролитический процесс быстро вытеснил химический способ получения алюминия. Стоимость металла резко снизилась. Если при старом методе 1 кг алюминия стоил 45 золотых рублей, то уже в 90-х годах прошлого века стоимость металла, полученного электролитическим способом, составляла всего 0,8—1,3 золотых рублей за 1 кг. Мировое производство алюминия быстро возрастало. В 1890 г. было получено всего 92 т этого металла, однако уже в 1900 г. производство алюминия достигло 11, в 1913 г. — 78, а в 1920 г. — 150 тыс. т. Алюминиевая промышленность выросла в одну из крупнейших отраслей современного производства [17, с. 368, 369].

7. СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИИ

На рубеже XIX—XX вв. в металлургии для получения наиболее качественных сортов стали и цветных металлов все шире начинают использовать энергию электрического тока. Возможность электроплавки металлов впервые была установлена русским физиком В. В. Петровым. В 1802 г. он создал крупнейшую в то время гальваническую батарею, состоящую из 2100 медно-цинковых элементов. С помощью этого источника тока было открыто явление электрической дуги. Петров первый указал на возможности ее практического применения для освещения, электроплавки и электросварки металлов. Русский ученый исследовал также процессы окисления металлов и восстановления их из руд в зоне горения электрической дуги.

Патент на первую электротермическую печь был взят еще в 1853 г. французом Пишоном. Конструкция этой печи в какой-то мере является прототипом электродуговых печей (Э. Стассано и др.), которые нашли практическое применение в конце прошлого столетия. Основным элементом печи Пишона были две пары горизонтально расположенных электродов, между которыми возбуждалась электрическая дуга. Смесь руды и угля пропусклась через зону горения дуги, температура которой составляла 3000—3500° С. Восстановленный углеродом металл плавился и собирался на поду электрической печи. Однако недостаточное количество электроэнергии, вырабатываемой в то время примитивными магнитоэлектрическими генераторами, не могло обеспечить нормальный ход металлургического процесса, и печь Пишона не получила практического использования.

Значительным шагом в разработке электротермических устройств стали опыты английского инженера В. Сименса, получившего в 1878—1879 гг. несколько патентов на свои конструкции электрических печей.

Одна из этих конструкций представляла собой огнеупорный тигель, через дно которого проходил подовый электрод из тугоплавкого металла. Второй металлический электрод, охлаждаемый водой, пропусклся через крышку тигля. Между этими двумя электродами возбуждалась электрическая дуга. В другой конструкции подовый электрод был сделан из железа и во время работы охлаждался, а верхний электрод формировался из угля. Третья конструкция представляла собой тигель с двумя горизонтальными электродами, установленными один против другого [18, с. 13—15].

В 90-е годы было предложено немало конструкций электрических печей — дуговых и печей сопротивления, в которых тепло выделяется при прохождении электрического тока через проводник, обладающий значительным электрическим сопротивлением, или непосредственно через перерабатываемый материал, являющийся в этом случае также элементом сопротивления. Тем не менее для промышленного производства стали эти печи не нашли в то время широкого применения. Слишком дорогой была выработка электроэнергии. Сталь, которую можно было получать в электропечах, стоила в несколько раз дороже металла, выплавляемого в мартеновских печах или конвертерах. Однако в ряде других отраслей хозяйственной деятельности — при выплавке алюминия или в производстве карбида кальция — электропечи использовали уже довольно широко.

Первые электрические печи для выплавки стали устанавливали, как правило, в районах, где можно было получить наиболее дешевый электрический ток, используя для этого гидроэнергию рек, находящихся поблизости. В 1898 г. итальянский инженер Э. Стассано взял патент на получение в электропечи литой ковкой стали с любым содержанием углерода. Его печь была установлена в Северной Италии, богатой водными ресурсами. В 1899 г. француз П. Эру запатентовал свою конструкцию сталеплавильной электропечи с электродами, расположенными над ванной. Первая печь Эру была построена в Савойе, в предгорьях Альп. Этот город на юго-востоке Франции и поныне является одним из центров французской электрометаллургии. В 1900 г. в Швеции была пущена первая индукционная электропечь конструкции Челлина. Важнейшее преимущество индукционной печи по сравнению с другими электроплавильными и нагревательными агрегатами состоит в том, что тепловая энергия возникает в самом нагреваемом материале за счет энергии электрического тока, проходящего по первичной обмотке. В индукционных печах обеспечивается наиболее равномерный прогрев металла и исключается вредное воздействие газов, образующихся в обычных печах от сгорания топлива или угольной дуги.

Первая печь Э. Стассано по своей конструкции была похожа на доменную печь. Она имела шахту, заплечики и загружалась сверху через засыпную воронку. В ее горн вводили два горизонтально установленных угольных электрода. В дальнейших конструкциях Стассано отказался от печи шахтного типа. От старой конструкции фактически остался только горн. Новая печь имела три пары электродов. Заставляя гореть одну, две или все три электрические дуги, можно было регулировать температуру в плавленном пространстве. Шахтовые материалы для электроплавки вводили ниже зоны горения электрической дуги. Несколько лет спустя Э. Стассано построил в Турине вращающуюся электропечь. При этом

ось вращения отклонялась от вертикали на некоторый угол, что обеспечивало более эффективное перемещение расплавленных материалов на поду печи. Стапельплавильные агрегаты конструкции Стассано строили затем в разных странах, их оптимальная емкость обычно составляла от 0,5 до 3 т [18, с. 62, 63, 70].

Электропечные печи, созданные Эру, Жиро и рядом других конструкторов, получили название печей с прямым нагревом. В них электрический ток подводится к вертикально расположенному угольному электроду и к металлу, находящемуся на поду печи. Электрическая дуга горит между электродом и ванной. Таким образом, в печах с прямым нагревом тепловая энергия получается из двух источников — от горения дуги и нагревания ванны вследствие ее сопротивления проходящему электрическому току. П. Эру получил патент на одно- и трехфазную электропечь, предназначенные для выплавки стали и производства ферросплавов.

В 1912 г. П. Ренерфельдт (Швеция) несколько видоизменил и усовершенствовал электропечь Э. Стассано. Его печь, работавшая на трехфазном токе, имела три электрода. Один из них был расположен вертикально и проходил через свод печи. Два других вводились через стенки печи с небольшим наклоном от горизонтальной линии. При работе печи зона горения дуг несколько отклонялась вертикальным электродом в направлении ванны, обеспечивая более высокую температуру в поверхностных слоях расплавляемых материалов. Печи Ренерфельдта нашли широкое применение для рафинирования стали и чугуна, а также для плавки медных сплавов, никеля, серебра и алюминия.

В начале XX в. профессор Киевского политехнического института В. П. Ижевский предложил ряд конструкций электропечей лабораторного типа для плавки металлов и термообработки. Первая такая печь, построенная в 1901 г., предназначалась для переплавки небольшого количества чугуна с железными обрезками или с присадками руды. Керамические стенки разогревались электрическим током, проходящим по заложенным в них электродам. Емкость печи составляла всего 16,5 кг. Печь позволяла получать однородный металл, она была компактной, могла работать на постоянном и переменном токе разного напряжения. В последующие годы печи Ижевского (емкостью до 100 кг) работали на ряде заводов Украины.

1909 г. можно считать началом промышленного производства электропечей в России. В этом году на дуговой печи П. Эру, пущенной на Обуховском заводе в Петербурге, было выплавлено 192 т высококачественной стали. В 1911 г. эта печь дала уже 1122 т металла. В 1913 г. на русских заводах работали 4 электрические печи, выплавлявшие в год 3500 т стали [8, с. 167, 168].

В 1915 г. на Мотовилихинском заводе в Перми была пущена первая сталеплавильная однофазная печь сопротивления с нагревом ванны от расположенных над ней угольных стержней, накаливавшихся электрическим током. Эта печь была сконструирована русскими инженерами С. С. Штейнбергом и А. Ф. Грамолиным. В дальнейшем аналогичные печи емкостью 0,75—1 т были установлены на Златоустовском, Надеждинском и других уральских заводах и успешно выполняли военные заказы во время первой мировой войны [19, с. 125, 126].

Основоположником создания электрометаллургии качественных ста-

лей в нашей стране следует считать видного металлурга Н. И. Беляева. В 1916 г. на небольшом литейном заводе близ г. Богородска (ныне Ногинск, Моск. обл.) он получил первую легированную электросталь. Под руководством Н. И. Беляева началось строительство крупного завода качественных сталей с четырьмя дугowymi печами прямого действия. В ноябре 1917 г. первая электропечь емкостью 1,5 т вступила в строй. Завод «Электросталь» стал первым крупным предприятием, пущенным при Советской власти.

С самого начала использования электропечей в промышленности их преимущества ни у кого не вызвали сомнений. В электростальных агрегатах более высокая температура, чем в других сталеплавильных агрегатах, легко переплавлялся скрап легированных сталей, можно было производить специальные высококачественные сплавы с тугоплавкими легирующими элементами при минимальном количестве вредных примесей. Поэтому всюду, где позволяли возможности получения достаточного количества электроэнергии, форсированно развивалась электрометаллургия.

В 1910 г. во всех странах мира работали 114 электрических печей. В 1915 г. их было уже 213, а к началу 1920 г. выплавляли сталь 1025 электросталей и 362 агрегата находились в стадии монтажа и наладки. В развитых странах, богатых электроэнергией, производство электростали росло особенно быстрыми темпами. В США, например, производство стали в электростальных печах за 4 года, с 1914 по 1918 г., возросло с 24 до 800 тыс. т, т. е. в 33 раза. Аналогичная картина наблюдалась в Германии и Канаде [19, с. 11]. В этот же период электропечи нашли широкое применение для получения ферросплавов, выплавки цветных металлов, а также в химической промышленности — для производства карбида кальция, фосфора и других продуктов.

8 РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ОСНОВ МЕТАЛЛУРГИИ

К 70-м годам XIX в. были достигнуты существенные успехи в разработке научных основ металлургии. Рост производства и применения металлических сплавов поставил перед наукой важные практические задачи: уменьшение выгорания металла в процессе плавки, необходимость замены древесного угля минеральным топливом, изыскание рациональных способов переработки бедных руд, повышение механических свойств металлов и сплавов и многие другие.

Научные основы металлургии начали складываться еще в XVIII в., сначала они базировались на анализе и обобщении разрозненных эмпирических знаний о металлах и сплавах, их получении, свойствах и обработке. Затем эмпирические знания стали связывать с законами физики, химии и других наук. Начало разработки теоретических основ учения о металлах было положено трудами французского естествоиспытателя Р. Реомюра, великого русского ученого М. В. Ломоносова, французского химика А. Лавуазье и рядом их современников.

В разработке теории металлургических процессов в XIX в. трудно переоценить значение трудов Ж. Пруста (закон постоянства состава химических соединений), И. Рихтера (закон эквивалентов), Д. Дальтона



Михаил Александрович Павлов
(1863—1958 гг.)

(закон простых кратных отношений), а также работ К. Бертолле, Й. Берцелиуса и многих других выдающихся химиков. Основываясь на исследованиях своих предшественников и современников, французские химики Ж. Гей-Люссак и Л. Тенар установили существование трех основных окислов железа. Большую роль в развитии научной металлургии сыграло открытие немецким ученым Э. Митчеллихом явления изоморфизма, исследованием К. Карстена по теории связанного и свободного углерода в железе, а также влияния кремния, серы и других элементов на железоуглеродистые сплавы.

Весьма плодотворными для развития теоретической металлургии были работы С. Карно, Д. Джоуля, Р. Майера, Р. Клаузиуса, Т. Гельмгольца и других физиков, внесших большой вклад в разработку учения о теплоте. На основе этих работ была установлена методика исследования эндо-

и экзотермических реакций, имеющая важнейшее значение при разработке энергетического баланса технологических процессов в металлургии.

В последней четверти прошлого столетия на базе фундаментальных открытий в области естествознания научные разработки охватили все области производства черных и цветных металлов. В качестве самостоятельной науки оформилась металлография — учение о структуре металлов и сплавов, основы которого были заложены русским металлургом П. П. Аносовым еще в первой половине XIX в.

Крупную роль в создании теории доменного процесса сыграл известный английский металлург И. Белл, который изучил условия, необходимые для лучшего хода процесса восстановления окислов железа в доменной печи. В 1869 г. ученый опубликовал подробный расчет теплового баланса доменной печи. Среди его многочисленных печатных работ широкой известность получила книга «Основы производства чугуна и стали», опубликованная в Лондоне в 1884 г. и переведенная на ряд европейских языков.

Работы Белла в области теории доменного процесса продолжил французский металлург Л. Грюнер. Исследуя восстановление железа в условиях доменной плавки, он показал, что этот процесс осуществляется окисью углерода с образованием углекислоты, а также прямым восстановлением твердым углеродом. В результате второй химической реакции образуется окись углерода. Доменная печь, утверждал Грюнер, работает

тем экономичнее, чем большая часть окислов железа восстанавливается косвенным путем, так как в этом случае реакция восстановления окислов не требует затраты тепла [2, с. 219, 220].

Важные исследования по определению тепла, затрачиваемого на расплавление шлаков, осуществил в 80-х годах шведский ученый Р. Оккерман. Его работы позволили установить плавкость шлака различного состава и определить его роль в доменном процессе.

Весьмий вклад в развитие науки о металлах внесли русские ученые. В теории доменного процесса важнейшие научные труды написаны выдающимся металлургом М. А. Павловым. В 1885 г. по окончании Петербургского горного института Павлов был направлен на металлургические заводы Приуралья. Молодой инженер внимательно изучает работу доменных печей, вносит существенные исправления в их конструкцию. В 1894 г. в «Горном журнале» появляется статья М. А. Павлова «Исследование плавленного пространства доменных печей» — первое в отечественной научной литературе теоретическое исследование теплового баланса доменных печей.

В 1900 г. начинается более чем полувековая педагогическая деятельность М. А. Павлова. Он заведует кафедрами в Высшем горном училище в Екатеринбурге, Петербургском политехническом институте, Горной академии в Москве, Московском институте стали. Ученый не прерывает связей с промышленностью. Один за другим выходят его научные труды: «Атлас чертежей по доменному производству» (1902 г.), «Альбом чертежей по мартеновскому производству» (1904 г.), «Размеры мартеновских печей по эмпирическим данным» и «Определение размеров доменных печей (обе работы опубликованы в 1910 г.)». Эти труды имели большое значение для разработки теории и практики металлургии. Составившая многочисленные опытные и расчетные материалы, М. А. Павлов разработал оригинальные способы определения оптимальных соотношений основных элементов металлургических агрегатов, обеспечивающих в данных конкретных условиях максимальный производственный эффект.

Ряд дальнейших научных трудов М. А. Павлова — «Тепловые балансы металлургических процессов» (1911 г.), «Расчет доменных шихт» и, наконец, монументальный курс «Металлургия чугуна», первое издание которого вышло в 1924 г., — посвящены теории и практике доменного производства. Они и поныне не потеряли своего первостепенного значения. Ученый многое сделал при проектировании и постройке крупных металлургических заводов.

Уже в начале XIX в. стало предельно ясным, что качество изделий из металлов или сплавов определяется не только процессами их производства. Огромную роль для повышения добротности металла играет его последующая обработка (прокатка, ковка, штамповка), особенно тепловая, термическая обработка. Исследователи многих стран уделили большое внимание изучению химического состава металлических сплавов, влиянию отдельных элементов, входящих в их состав. Особенно тщательно исследовали химический состав стали. Как известно, сталь представляет собой сплав железа с углеродом (до 2%) и другими химическими элементами. Содержание углерода в решающей степени определяет механические свойства стали.

Исследованиями химических связей между железом и углеродом занимались многие ученые второй половины XVIII в. В 1786 г. К. Бер-

толле, Г. Монж и А. Вандермонд представили Французской академии наук примечательную работу «Различные состояния железа», в которой сделан вывод, что именно содержание углерода в первую очередь определяет различие между железом, сталью и чугуном. Следующая работа этих же авторов «Наставление о выделке стали», опубликованная в Париже в 1793 г. и вышедшая на русском языке в 1804 г., развивает учение о роли углерода в железоуглеродистых сплавах. Эти исследования были успешно продолжены на рубеже XVIII—XIX вв. французом Г. де Морво, англичанином Д. Мусе, немцем К. Карстеном, шведским химиком Н. Сефстромом и другими учеными.

Качественные характеристики стали и других металлических сплавов определяют также их внутренним строением — структурой. Металлография рассматривает макро- и микроструктуры металлических материалов. Начало микроскопическим исследованиям травленной поверхности стали положено в 1831 г. П. П. Аносовым. Его эксперименты были продолжены в 1864 г. английским ученым Г. Сорби и другими исследователями.

В 1868 г. выдающийся русский металлург Д. К. Чернов установил зависимость структуры и свойств стали от ее горячей механической (ковки) и термической обработки. Чернов открыл критические температуры, при которых в стали в результате ее нагревания или охлаждения в твердом состоянии происходят фазовые превращения, существенно изменяющие структуру и свойства металла. Эти критические температуры, определенные по цветам каления металла, получили название точек Чернова. Русский ученый графически изобразил влияние углерода на положение критических точек, создав первый набросок очертания важнейших линий классической диаграммы состояния железо—углерод. Исследования полиморфизма железа, завершенные Д. К. Черновым в 1868 г., принято считать началом нового периода в развитии науки о металле, возникновением современного металловедения, изучающего взаимосвязь состава, структуры и свойств металлов и сплавов, а также их изменения при различных видах теплового, химического и механического воздействий.

В 1888 г. французский ученый Ф. Осмонд, использовав термоэлектрический термометр А. Ле Шателье, с большой точностью измерил температуры, характеризующие начало полиморфных превращений в стали. В последующие годы Осмонд описал характер этих превращений и присвоил названия основным структурам железоуглеродистых сплавов.

На рубеже XIX—XX вв. многие видные ученые-металлурги и металловеды: В. Робертс-Аустен (Англия), В. Розебом (Голландия), Ф. Осмонд (Франция), П. Геренс (Германия) и другие положили немало труда для дальнейшей разработки диаграммы железо—углерод, которая является основой современной металлографии черных металлов.

Большое значение для развития теоретических основ и практики металлургического производства имели работы Д. К. Чернова по исследованию структуры литой стали, теории кристаллизации стального слитка, а также интенсификации металлургических процессов и совершенствованию технологии выплавки и тепловой обработки металлов. Труды прославленного русского металлурга были продолжены и развиты его учениками и последователями — А. А. Ржевотарским, А. А. Байковым, Н. С. Курнаковым, Н. Т. Гудовым и другими, а также иностран-

ными учеными Г. Гоу (США), Э. Гейном (Германия), Ф. Осмондом и А. Портевенном (Франция) и т. д.

Металлургия начала XX в., учитывая всевозрастающие потребности в черных и цветных металлах, занялась проблемами интенсификации производственных процессов. Металлургическое производство механизировалось, ручной труд заменялся машинами, большое внимание уделялось подготовке исходных материалов для производства чугуна, стали, цветных металлов, более форсировано велись процессы в плавильных агрегатах. В этот же период начали работы по использованию кислорода для интенсификации пирометаллургических процессов.

Идея форсирования выплавки чугуна и стали обогащением воздушного дутья кислородом была выдвинута более ста лет назад. Великий русский ученый Д. И. Менделеев в классическом труде «Основы химии» писал о том, что, используя кислород, можно получать очень высокие температуры, полезные в металлургии. Он предвидел время, когда останут на заводах и в войсках кислородные аппараты, общие для практики обогащать воздух кислородом. Выше указывалось, что Д. К. Чернов еще в 1876 г. поддерживал идею Р. Оккермана об использовании кислорода для интенсификации бессемеровского процесса.

Первые эксперименты по применению дутья, обогащенного кислородом, были проведены на бельгийском заводе Угре-Мари в 1913 г. Небольшая доменная печь этого завода при работе на дутье, содержащем 23% кислорода, дала на 12% больше чугуна и показала экономию топлива на 2,5—3%. В 20-е годы в ряде стран были проведены теоретические расчеты, связанные с применением кислорода в черной металлургии. Специальная комиссия Горного бюро США установила, что повышение концентрации кислорода в дутье до 31% повысит производительность доменной печи на 18% и снизит расход топлива на 6,7%. Однако в то время кислород не получал в металлургии практического применения. Вместе с тем рассматриваемый период дал ряд научно обоснованных рекомендаций и выводов. Систематическая работа в этом направлении в последующие годы привела к широкому внедрению кислорода, революционизировавшего основные технологические процессы в черной металлургии.



Дмитрий Константинович Чернов
(1839—1921 гг.)

РАЗВИТИЕ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДОСТИЖЕНИЙ ХИМИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

Химия начиная со второй половины XIX в. находилась в центре внимания научной мысли. После того как были сформулированы и разграничены основные понятия атома, молекулы и эквивалента, она быстро двинулась вперед, раскрывая «тайны» неорганического и органического мира.

Достижения химии, особенно успехи в области аналитической химии и ее важнейшего раздела — качественного анализа, а также появление и быстрое распространение спектрального анализа (1859—1861 гг.), способствовали открытию за сравнительно небольшой исторический промежуток времени ряда новых химических элементов. К 1869 г. уже было известно 63 химических элемента. Возникла настоятельная необходимость научного обобщения и систематизации элементов, ставших объектом интенсивных исследований химической науки.

Не случайно Д. И. Менделеев, работая над обоснованием открытого им в 1869 г. периодического закона, одного из величайших законов естествознания, называл современную ему химию «учением об элементах».

Периодический закон Д. И. Менделеева способствовал раскрытию многих не поддающихся ранее объяснению явлений, особенностей химического поведения уже открытых элементов, позволил предсказывать существование новых элементов и их свойства [1, с. 273]. На основании этого закона были предсказаны не известные еще аналоги бора, алюминия, кремния, марганца, теллура, циркония, бария, тантала и других. В 1870—1871 гг. Менделеев подробно описал свойства нескольких предсказанных элементов, которым он дал названия экабор, экаалюминий и экасилиций. Вскоре эти элементы — галлий (экаалюминий), скандий (экабор) и германий (экасилиций) были открыты. Галлий был открыт методом спектрального анализа в 1875 г. французским химиком П. Э. Лекоком де Буабодраном.

С обоснованием физического смысла периодического закона, ставшего возможным благодаря разработке теории строения атома, было установлено, что периодичность изменения свойств химических элементов зависит не от их атомного веса, а от атомного номера [2—4].

Периодический закон стал фундаментом теоретической химии. Он открыл широкие возможности для дальнейшего развития прикладной химии, в частности для решения практических задач, связанных с синтезом веществ с заранее заданными свойствами, получением новых материалов и совершенствовании технологии химических производств.

Прогресс химии и физики, их взаимопроникновение и взаимобогащение сопровождалось возникновением новых понятий и открытием новых законов, что создало предпосылки для появления новой самостоя-

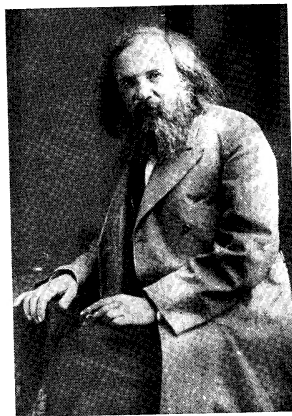
тельной области науки — физической химии. Становление физической химии относится к последней трети XIX в., хотя зарождение отдельных ее разделов началось еще в конце XVIII — начале XIX вв. Достижения в области физической химии неразрывно связаны с запросами практики, с общим промышленным прогрессом и развитием химических производств.

Химическая промышленность уже не могла базироваться в это время лишь на эмпирических представлениях и разрозненных теоретических знаниях. Физическая химия, объясняя химические явления и устанавливая их закономерности на основе общих принципов физики, сама стала источником разнообразных научных разработок и выводов, все более широко используемых в химической технологии.

Развитие физической химии в конце XIX — начале XX в. характеризовалось многочисленными открытиями в таких ее областях, как электрохимия, химическая кинетика, катализ, учение о растворах, химическая термодинамика и ряде других.

На развитие химии, и в частности электрохимии и учение о растворах огромное влияние оказала созданная шведским ученым С. Аррениусом теория электролитической диссоциации. Изучая электропроводность разбавленных водных растворов кислот, Аррениус в 80-х годах XIX в. пришел к выводу, что молекулы их распадаются на ионы — положительно и отрицательно заряженные частицы. Благодаря теории электролитической диссоциации стало возможным объяснение различных физико-химических явлений, в том числе связь между электрической проводимостью и реакционной способностью электролитов. Появление и развитие этой теории имело огромное практическое значение. На основе теории электролитической диссоциации выросла техническая электрохимия (электролиз, гальванотехника), получившая в рассматриваемый период широкое промышленное распространение.

Теория электролитической диссоциации послужила основой для дальнейших исследований в области растворов [5, с. 150—158; 6]. Продолжателями этого направления в химии выступили немецкий физико-химик В. Ф. Оствальд и голландский химик Я. Х. Вант-Гофф. В 1844 г. Оствальд обнаружил связь электропроводности растворов со степенью их электролитической диссоциации и нашел способ определения основности



Дмитрий Иванович Менделеев
(1834—1907 гг.)



Сванте Август Аррениус
(1859—1927 гг.)

кислот по электропроводности их растворов (1887—1888 гг.). Ему принадлежит открытие (1888 г.) «закона разбавления», сыгравшего большую роль в обосновании теории электролитической диссоциации [7, 8].

К 1885—1889 гг. относятся работы Я. Х. Вант-Гоффа по разбавленным растворам, в которых рассмотрены явления, связанные с осмотическим давлением и давлением пара над раствором, а также зависимости точек замерзания и кипения растворов от концентрации. Свои представления о растворах Вант-Гофф распространил в 1890 г. и на твердые тела, введя новое понятие «твердые растворы».

Большое значение получили в рассматриваемый период исследования в области химической кинетики. Установление основных закономерностей протекания химических реакций дало возможность разрабатывать принципы эффективного управления химическими процессами, конструировать не-

обходимые аппараты и оборудование, создавать новые и усовершенствовать традиционные технологические схемы в химических производствах.

Один из важнейших вопросов химической кинетики связан с учением о скоростях химических реакций и химическом равновесии. Во второй половине XIX в. исследованию этого вопроса посвящен ряд работ, в том числе немецкого химика Л. Вильгельми, изучившего (1850 г.) скорость инверсии тростникового сахара, и французского химика П. Э. М. Бертло, который совместно со своим соотечественником, химиком Л. Пеан де Сен-Жилем, опубликовал (1861—1863 гг.) результаты исследований скорости образования сложных эфиров из спиртов и кислот [9]. В 1864—1867 гг. норвежские ученые К. М. Гульдберг и П. Вааге открыли закон действующих масс, который лег в основу учения о химическом равновесии и скоростях химических превращений. В результате систематических исследований русского химика Н. А. Меншуткина в 1882—1890 гг. были установлены связи между строением веществ и их реакционной способностью [10].

Я. Х. Вант-Гофф и С. А. Аррениус в последующих работах обобщили и развили положения о химической кинетике. В частности, ими установлены зависимости скорости протекания химической реакции от температурных условий. Вант-Гофф показал, что при повышении температуры на 10°C скорость реакции увеличивается в 2—4 раза [6, 11, 12].

С проблемой химической кинетики неразрывно связаны вопросы ка-

тализа. Первые сведения об ускорении химических реакций под действием небольших количеств некоторых веществ были получены еще в конце XVIII — первой половине XIX в. (Н. Клеман, Ш. Дезорм, К. Кирхгоф, П. Филлипп, М. Фарадей, Л. Тенар, Г. И. Гесс, И. Давейер, Г. Дэви и др.).

Такие процессы немецкий химик Э. Митчерлих назвал (1833 г.) контактными, а шведский химик Й. Берцелиус — каталитическими (1835 г.) [5, с. 174—175; 13]. Интерес к каталитическим процессам значительно возрос с 60-х годов XIX в., когда появился каталитический способ производства серной кислоты.

В 70—90-х годах XIX в. катализ привлекает внимание многих ученых. Крупный вклад в исследование и развитие каталитического процесса внес К. А. Винклер, осуществивший в 1875 г. получение серной кислоты из сернистого газа и кислорода воздуха при нагревании в присутствии платинированного асбеста [14, с. 14—15].

В. Ф. Оствальд, придававший большое значение каталитическим процессам, на одной из своих лекций о катализе в лейпцигском Институте физической химии, говоря о своих исследованиях и работах учеников, отмечал, что, с тех пор как институт перешел в новое здание, он начал работу в нем «не без боязни за будущее. Предыдущий период принес весьма обильный урожай. В больших отделах, таких, как химическая динамика и электрохимия, были сделаны значительные успехи; казалось, что на долю нового института вместо интересных походов в неисследованные страны выпала лишь прозрачная задача — разработка приобретенного. Тогда я сказал себе: часть девственного леса мы должны оставить за собою... Но из всех путей, ведущих к этой цели, ни один не казался мне столь благородным и многообещающим, как катализ» [15, с. 240].

Действительно, конец XIX — начало XX в. ознаменовались замечательными успехами в области катализа. Было найдено немало эффективных катализаторов, позволявших проводить химические превращения с высокими скоростями, в том числе и при низких температурах. Кроме того, с помощью катализаторов удалось успешно осуществить ряд химических процессов, которые при обычных условиях ранее не могли быть реализованы (синтез азотной кислоты путем окисления азота кислородом воздуха, 1903—1905 гг.; синтез аммиака соединением элементарных азота с водородом; 1913 г. и др.).



Вильгельм Фридрих Оствальд
(1853—1932 гг.)



Якоб Хендрик Вант-Гофф
(1852—1911 гг.)

результате раскрытия закономерностей, которым подчиняется химическое равновесие. Синтез аммиака, как известно, требует особых термодинамических условий, связанных с реаким уменьшением объема получаемого продукта по сравнению с объемом исходных азота и водорода. Общие принципы химического равновесия в зависимости от температуры высказал в 1884 г. Я. Вант-Гофф. В том же году А. Ле Шателье сформулировал общий закон химического равновесия, который затем (1887 г.) с позиций термодинамики был обоснован К. Брауном. Последующие работы принадлежат немецким ученым В. Нернсту и Ф. Габеру, которые в 1905—1906 гг. сделали необходимые термодинамические расчеты химического равновесия реакции образования аммиака при высоких температурах и давлениях, дав тем самым конкретные рекомендации для осуществления (1913 г.) промышленного синтеза [17]. Достижения химии стали оказывать всевозрастающее влияние на прогресс химической технологии, области применения которой непрерывно расширялись. Установление закономерностей управления химическими процессами вооружило технологию теорией и методами для более активного преобразования вещества природы. Если главной задачей технологии предыдущего периода было получение исходных веществ для производства других уже известных химических соединений и продуктов (серная кислота, сода, щелочи и др.), составлявших область основной химической промышленности, то технология конца XIX — начала XX в. решала бо-

Было обнаружено и другое ценное свойство катализаторов — способность направлять химическое превращение в сторону получения определенного продукта из ряда возможных (в этом случае подбирают соответствующий катализатор).

Исследование тепловых эффектов химических процессов во второй половине XIX в. (П. Э. М. Бергто, Х. П. Ю. Томсен, Н. Н. Бекетов и др.) на основе открытого Г. И. Гессом закона постоянства сумм тепла химической реакции привело к созданию термохимии, которая, в свою очередь, оказала большое влияние на формирование химической термодинамики [16]. Успехи, достигнутые в области химической термодинамики в конце XIX в., дали возможность осуществить ряд крупных открытий в области химического синтеза. К ним относится и уже упоминавшийся катализический синтез аммиака. Разрешить эту важнейшую научную проблему удалось в ре-

лее серьезные задачи создания принципиально новых веществ. Это в первую очередь задачи целенаправленного синтеза, получения все более сложных химических соединений и материалов. Становление синтетической технологии — примечательная особенность рассматриваемого периода.

Сферы применения синтетической технологии охватили неорганическую и органическую химию. Приведенные уже выше примеры синтеза некоторых химических неорганических продуктов (аммиак, азотная кислота и др.) из элементарных исходных веществ — свидетельство серьезных качественных сдвигов в области неорганического синтеза. Но синтез — не единственное перспективное направление, характеризующее развитие технологии неорганических материалов рассматриваемого периода.

Научно-технические достижения второй половины XIX — начала XX в. дали возможность использовать (в ограниченных масштабах) в технологии экстремальные химико-физические условия (высокие температуры, давления), расширявшие ее возможности. Именно это позволило осуществить в конце XIX в. ряд оригинальных методов получения новых материалов и химических продуктов. К их числу относятся, например, работы французского химика А. Муассана, заложившего основы высокотемпературной электротехнологии. В электрической дуговой печи, развивающей температуру более 3000° С, Муассан восстановил молибден, вольфрам, алюминий, уран и другие металлы из их оксидных соединений, разработал способы получения совершенно новых соединений металлов с неметаллами: с углеродом (карбиды), бором (бориды), кремнием (силициды) и др. [18, 19]. Открытия А. Муассана, наряду с их большой научной значимостью, заложили основы новых технологических процессов в химической и металлургической отраслях промышленности [20, 21]. Значительное внимание в это время уделялось исследованиям, связанным с разработкой процессов получения металлических сплавов и комплексных соединений — малоизученных областей неорганической химии.

К 70-м годам XIX в. были заложены основы органического синтеза. В изучение органических соединений и разработку синтеза внесли вклад Ф. Вёлер, Ю. Либих, Н. Н. Зинин, А. Кольбе, Э. Франкланд, П. Бергто, Р. Бунзен, Ж. Б. Дюма, Ш. Жерар и ряд других ученых. Выдающиеся



Александр Михайлович Бутлеров
(1828—1886 гг.)

значение в развитии органической химии имела созданная русским ученым А. М. Бутлеровым теория химического строения, которая дала объяснение ряду невыясненных в то время явлений, в том числе изомерии. Ученый впервые показал, что изомеры представляют соединения с одинаковыми элементарным составом, но различным химическим строением [22, 23]. На основании теории Бутлерова стало возможным устанавливать строение уже известных веществ и прогнозировать пути получения новых органических соединений [24].

Из многообразия химико-технологических направлений, имеющих крупное экономическое значение и определявших в рассматриваемый период научно-технический прогресс химической промышленности, отчетливо прослеживаются следующие: аммиачный процесс получения соды; получение серной кислоты контактными способом; получение азотной кислоты контактными окислением аммиака и непосредственной фиксацией азота атмосферы; производство минеральных удобрений; коксохимическое производство; нефтехимическое производство; производство синтетических красителей; производство взрывчатых веществ; электрохимическая технология.

2. РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СОДЫ

К 70-м годам XIX в. в мировой химической промышленности применяли два основных производственных процесса получения соды: леблановский и аммиачный. Процесс Леблана, возникший еще в конце XVIII в., успешно развивался на протяжении 70–80 лет XIX в., являясь основой содового производства почти до начала XX в. Наоборот, экономическое значение аммиачного процесса до 70–80-х годов XIX в. было небольшим, несмотря на то что схема его была предложена еще в 1838 г. Эти два процесса развивались параллельно, конкурируя между собой.

Перед тем как перейти к аммиачно-содовому процессу, ставшему ведущим на рубеже XIX–XX вв., кратко остановимся на причинах, вызвавших его стремительное развитие и одновременно — упадок леблановского процесса.

В основу производства соды по методу Н. Леблана положен процесс взаимодействия поваренной соли с концентрированной серной кислотой. Получаемый в результате этой химической реакции продукт — сульфат натрия (глауберова соль) — подвергали дальнейшей переработке в печах, снабженных с углем и углекислым кальцием. Из образующегося шлага соду извлекали выщелачиванием водой в специальных устройствах, отделяя ее таким образом от нерастворимого осадка сернистого кальция. Последующей операцией выпаривания раствора извлекали сырую соду, содержащую около 62,5% воды. В связи с этим ее обезвоживали сильным прокаливанием. В результате получалась так называемая кальцинированная сода — готовый продукт, широко используемый в основной химической промышленности.

На протяжении всей истории своего развития леблановский процесс постепенно совершенствовался, хотя основная химическая схема оставалась в принципе прежней. Из наиболее крупных усовершенствований, внесенных в промышленный процесс, необходимо отметить разработку хи-

мических способов утилизации отходов и ряд технических изобретений, позволивших ввести более мощную и производительную технологическую аппаратуру.

Разрешение проблемы утилизации ранее не использовавшихся отходов сыграло большую роль в повышении экономичности леблановского производства. Такими отходами были хлористый водород, выбрасывавшийся в атмосферу, и огромные отвалы сернистого кальция. Попытки утилизации хлористого водорода с целью выделения из него хлора, широко использовавшегося для производства хлорной извести (для белины тканей), относятся еще к 20–30-м годам XIX в. Однако лишь в конце 60–70-х годов прошлого столетия в этом деле были достигнуты положительные результаты. Проблему удалось разрешить В. Вельдону, Г. Дикону и Ф. Гертеру, разработавшим весьма экономичные способы получения хлора из хлористого водорода [25, с. 65].

В 60-х годах XIX в. удалось решить и проблему переработки отходов сернистого кальция, образующегося в леблановском производстве. Конечным продуктом утилизации был ценный продукт — высококачественная сера. Но стоимость переработки из-за значительного потребления соляной кислоты была весьма высокой (на 1 т серы расходовали до 2–2,5 т соляной кислоты) [25, с. 67–68].

Рассматривая технические усовершенствования в леблановском производстве, необходимо отметить, что до 70-х годов прошлого столетия механизация входила слабо. В последней четверти XIX в. значительное распространение получили высокопроизводительные вращающиеся механические содовые печи (получение содового шлага), предложенные в 50-х годах XIX в. инженерами Эллиотом и Русселем. Изобретение этих печей имело большое значение не только в прогрессе содового производства, но и в других отраслях промышленности, в том числе и цементной. Механическая вращающаяся печь приводилась в движение паровым двигателем, вмещала 196,5 пудов шихты и производила за сутки до 15 т сульфата натрия. Для сравнения укажем, что производительность ручных печей Леблана составляла в сутки 672 кг шлага, Пайена — 4340 кг, Дарсе — 5244 кг, и лишь в печах системы Клемана и Дезорма, имеющих большую площадь пода, производилось до 19 584 кг шлага. Но качество продукта, получаемого с ручных печей, было нестабильным, так как вручную невозможно было равномерно перемешивать смесь. Рабочие перемешивали большие массы раскаленной смеси трехудельной металлической коcherгой.

Механизация другого трудоемкого процесса — выщелачивания — началась лишь в 70-х годах XIX в., несмотря на то что до этого уже были известны изобретения весьма оригинальных выщелачивателей системы Чанкса. К этому же времени относится распространение в леблановском производстве механических сульфатных и кальцинировочных печей. Механическая сульфатная печь состояла из чугунной чаши с плоским дном, обогреваемой сверху топочными газами. Для перемешивания поваренной соли и серной кислоты было предусмотрено специальное устройство в виде вертикального вала, проходящего через свод печи и снабженного гребками. Во время вращения гребки, перемешивая смесь, перекидывали образующийся сульфат натрия к отверстиям для выгрузки. Поваренную соль загружали в печь через воронку, расположенную над чашей, а серную кислоту подавали по двум свинцовым трубам. Известны и другие кон-

струкции сульфатных печей, в которых перемешивание осуществлялось вращением пода, в то время как мешалки оставались неподвижными.

В кальцинировочных механических печах (например, система Телена) сода отделялась от стенок аппарата и передвигалась к выходному отверстию скребками, подвешенными к вращающемуся валу. У выходного отверстия (не выходя из аппарата) сода дробилась с помощью специальных валков [25, с. 53—57].

Мировое производство леблановской соды непрерывно возрастало до конца 80-х годов XIX в.: 1870 г. 447 тыс. т, 1875 г. 495 тыс. т и 1880—1882 гг. 645 тыс. т. Последняя цифра характеризует высший предел, которого достигало когда-либо леблановское содовое производство [25, с. 107]. С этого времени производство леблановской соды падает: в 1894 г. ее выпуск составлял около 600 тыс. т, а в 1908 г. упал до 50 тыс. т, т. е. сократился в 12 раз [26, с. 24]. Такой резкий спад был вызван не только конкуренцией более совершенного аммиачного способа производства соды, но также и тем, что заводы, работающие по леблановской схеме, лишились рынка для сбыта хлора. Этот удар был нанесен быстро развивавшейся в 90-х годах электрохимической промышленностью, одним из важнейших производств которой было получение хлора электролизом хлоридов калия [26, с. 23—24].

В это время на арену выступил новый, более прогрессивный процесс производства соды — аммиачный, ставший сильным конкурентом для леблановского производства и определивший последующий прогресс содового производства [26—28].

В основу аммиачного процесса получения соды положена реакция обменного разложения хлористого натрия и бикарбоната аммония, в результате которой образуются два продукта — бикарбонат натрия и хлористый аммоний. Осадок бикарбоната натрия отфильтровывается и последующим прокаливанием превращается в карбонат натрия (кальцинированную соду). Кроме того, предусматриваются и другие химические операции, связанные с улавливанием образующихся в результате превращений продуктов — аммиака и углекислого газа, возвращаемых в производство.

Совершенствованием аммиачного способа занимались ученые и инженеры ряда стран (Г. Дьюар, Дж. Хемминг, Д. Муспратт и др.), пытавшиеся поставить аммиачно-содовый процесс на промышленную основу [25, с. 72, 73]. В 1854 г. химики Шлезинг и Шварц создали в Путо, недалеко от Парижа, содовый завод, проработавший два года и за это время давший 316 т аммиачной соды. Оригинальными в работах Т. Шлезинга и К. Шварца были попытки осуществить в производственных условиях непрерывный процесс, а также улавливание аммиака на промежуточных стадиях. Однако как раз потери аммиака в связи с отсутствием эффективных методов его утилизации были одной из причин нерентабельности предприятия.

Работы упомянутых и некоторых других специалистов внесли много ценного в совершенствование аммиачно-содового процесса. Они легли в основу последующих работ, обеспечивших широкое распространение аммиачно-содового производства в 70—80-х годах XIX в.

Крупнейшая заслуга в промышленной реализации аммиачно-содового процесса принадлежит бельгийскому инженеру Эрнесту Сольве (60-е го-

ды XIX в.). В 1865 г. он построил небольшой завод аммиачной соды в Куиё (Бельгия) [25, с. 76, 77].

Однако потребовалось еще целое десятилетие упорного труда, прежде чем работы Сольве привлекли серьезное внимание специалистов и предпринимателей. Работая над новой аппаратурой, Сольве предложил ценное усовершенствование — карбонизационную колонну. Благодаря ей, а также ряду других предложений была достигнута непрерывность процесса, на необходимость чего ранее указывали Шлезинг и Роланд. Кроме того, также благодаря использованию специальной аппаратуры Сольве удалось снизить потери аммиака. Продукция его завода экспонировалась в 1873 г. на Всемирной выставке в Вене и принесла большую известность изобретателю.

Содовый завод Сольве в Куиё в качестве сырья использовал хлористый натрий в виде каменной соли. Аммиак применяли в виде аммиачной воды или сульфата аммония. Для отделения аммиака первое время служили известь в твердом виде, а с 80-х годов XIX в. — известковое молоко.

Аммиачный процесс Сольве дошел в своей основе и до наших дней, причем сохранился в общих чертах и последовательности технологических операций. Весь производственный процесс осуществляется в шести отделениях предприятия. Процесс начинается в отделении абсорбции, где соляной рассол обрабатывают аммиаком. В следующем отделении дозоров отделяют соли кальция и магния, которые выпадают в результате аммонизации из первоначального рассола. В отделении карбонизации через аммиачный рассол пропускают углекислый газ, поступающий из известковых печей и сушилок. Затем следуют отделение фильтрации (осаждение бикарбоната натрия из маточной жидкости); отделение кальцинации (разложение бикарбоната натрия во вращающихся сушилах, продуктом которого являются кальцинированная сода и углекислый газ, возвращаемый в процессе карбонизации); отделение дистилляции (регенерация аммиака из маточной жидкости паром и известью). Используемые в аммиачно-содовом производстве известь и углекислый газ получают из известняка, обжигая его в специальных печах. В отходах остается раствор хлористого кальция [25, с. 78].

Процесс карбонизации аммиачного рассола сопровождается выделением большого количества тепла. Поэтому, чтобы процесс протекал нормально, карбонизационные колонны были устроены таким образом, что обеспечивали интенсивное охлаждение рассола. В результате усовершенствований применявшаяся в самом начале система наружного охлаждения путем орошения колонны водой была заменена в конце 80-х годов XIX в. системой внутреннего охлаждения. Для этого в нижней части колонны устанавливали холодильные бочки, снабженные горизонтально расположенными трубками, в которых циркулировала холодная вода. В конце XIX в. на аммиачно-содовых заводах была широко распространена карбонизационная колонна высотой 19 м, диаметром 1300 мм, состоящая из 21 бочки, из которых 7 бочек холодильных [24, с. 81, 82].

Первое время бикарбонат натрия фильтровали в аппаратах периодического действия (чугун-фильтрах). Существовали различные их конструкции. Обычно они представляли цилиндрический сосуд, разделенный решеткой, на которой последовательно накладывали проволочную сетку, слой холста, байки и перфорированный лист железа. Для ускорения про-

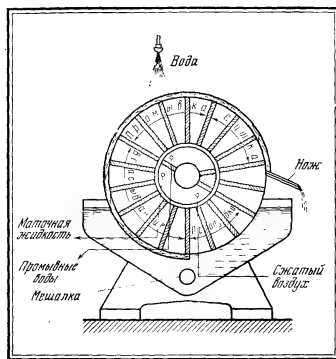


Схема устройства вращающегося вакуум-фильтра (конец XIX в.)

развитие которых завершилось созданием барабанных вакуум-фильтров, получивших практическое распространение. Этот тип фильтров выгодно отличался от нутч-фильтров прежде всего механизированным съемом осадка бикарбоната натрия с фильтровальной ткани и одновременной промывкой его водой. Несмотря на это, вакуум-фильтр работал периодически, требуя остановки для промывки сукна (закупорка пор материала). Дальнейшее усовершенствование барабанного вакуум-фильтра привело к созданию непрерывно действующего аппарата. Для этого из внутренней полости барабана продували обтягивающее его сухое сжатое воздухом. Сам барабан был разделен по окружности на несколько секций. В процессе вращения барабана секции автоматически переключались с вакуума на давление, в результате чего фильтрующая ткань, после снятия с нее ножом отфильтрованного осадка, продувалась воздухом [25, с. 83, 84].

С введением в содовое производство вращающихся вакуум-фильтров аммиачный процесс стал непрерывным.

Большие технические новшества были введены и на конечной операции — кальцинации. По существовавшей в 70-х годах XIX в. технологии кальцинация осуществлялась в две стадии. На первой стадии бикарбонат натрия разлагался до 75%, на второй — разложение завершалось полностью с получением готового продукта — кальцинированной соды. С учетом этих технологических особенностей кальцинации создавали и необходимую аппаратуру. Среди известных кальцинировочных аппаратов широко распространен был запатентованный Э. Сольве в 1877 г. аппарат, названный впоследствии «ростером», применявшийся для предваритель-

цесса фильтрации в нижней части аппарата создавали вакуум. Бикарбонат натрия оседал на фильтрующей поверхности, после чего его промывали водой и вручную выгружали. Такой тип фильтров применяли, в частности, на Березниковском содовом заводе в России, пущенном в 1883 г. Здесь было установлено 13 фильтров, каждый производительностью 1000 т бикарбоната в год (3,09 т в сутки). Серьезный недостаток нутч-фильтров — периодичность их действия, что в условиях крупного производства нередко нарушало непрерывный производственный процесс колонных аппаратов.

В конце 70-х годов XIX в. появились вращающиеся вакуум-фильтры, дальнейшее

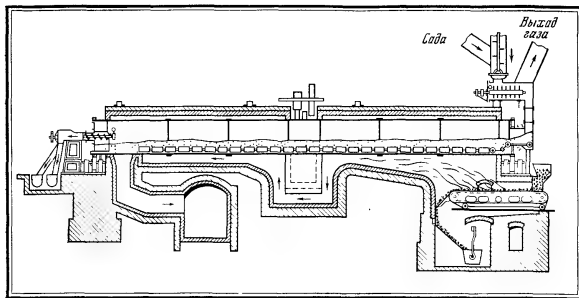
ной кальцинации. Он был выполнен в виде массивной чугунной чаши диаметром 3 м, закрытой крышкой. Внутри чаши находилась мешалка со скребками, с помощью которых перемешивался нагреваемый бикарбонат натрия и полуготовая сода выбрасывалась из «ростера» через отверстие для выгрузки (в момент его периодического открывания). Образующийся при кальцинации углекислый газ и пар отсасывались насосом.

Окончательное разложение полученного полупродукта проводили обычно во вращающихся печах. Одну из печей, применявшихся в содовом производстве, запатентовал в 1877 г. Э. Сольве. Печь представляла собой вращающийся наклонный цилиндр с отверстиями с обоих концов, выложенный внутри огнеупорным материалом. С обоих концов цилиндра имелись отверстия, одно из которых (с приподнятой стороны) служило для подачи сырой соды, другое (с опущенной стороны) для выхода готового продукта — кальцинированной соды. Сырая сода, поданная по желобу в печь, перемешивалась вращающимся цилиндром и одновременно прокаливалась, соприкасаясь с топочными газами. В результате вращения и наклона цилиндра одновременно обрабатываемая сырая сода перемещалась к нижнему его отверстию, откуда готовая сода поступала в бункер. Печь работала непрерывно.

Применяли и другие типы устройств для окончательной обработки сырой соды. Заслуживает внимания механическая кальцинировочная печь, представляющая вертикальный железный цилиндр, выложенный внутри огнеупорным материалом и разделенный чугунными плитками на несколько секций. Сырая сода подавалась в верхнюю часть печи, последовательно проходя через все секции, прокаливалась. Для этого было предусмотрено специальное устройство, состоящее из вертикального вала со скребками, проходящего через эти секции. Вал приводился во вращение от двигателя. Сырая сода, загруженная на чугунную плиту верхней секции, постепенно передвигалась скребками от периферии к центру и через отверстие в плите перескакивала в следующую нижнюю секцию. Здесь содовая масса скребками передвигалась от центра к периферии, где через отверстие в плите перескакивала в следующую нижнюю секцию, а из нее последовательно, таким же образом, в ниже расположенные секции. В последней секции собиралась готовая кальцинированная сода, откуда она и извлекалась. Сода прокаливалась горячими топочными газами, двигавшимися ей навстречу. Описанная механическая печь имела непрерывный цикл работы и широко использовалась на некоторых иностранных предприятиях. В России печи этого типа существовали, в частности, на Славянском содовом заводе [25, с. 85—87].

С 80-х годов XIX в. на аммиачно-содовых заводах стали применять для кальцинации печи Телена, появившиеся несколько ранее на предприятиях, работающих по схеме Лёблана. Эти печи были несколько усовершенствованы и, работая по непрерывному режиму, давали до 15—20 т кальцинированной соды в сутки. Кроме того, бикарбонат натрия в них разлагался в одну стадию.

В эти же годы на многих аммиачно-содовых заводах для кальцинации была внедрена вращающаяся барабанная сушилка Э. Сольве непрерывного действия длиной 18—15,5 м с диаметром барабана 1,5 м. Производительность сушилки достигала 40—45 т соды в сутки, что в 2—3 раза превышало производительность печей Телена. Сушилки Сольве, кроме того, имели



Вращающаяся сушилка Э. Сольве непрерывного действия (90-е годы XIX в.)

В 1880 г. аммиачно-содовый завод появляется в Вилене и в 1883 г. — в Бернбурге (оба в Германии), в 1884 г. — в США.

В России аммиачно-содовый процесс находился в поле зрения прогрессивных ученых и специалистов, интересовавшихся ходом работ в этой области внутри страны и за рубежом. Понимая огромное значение содового производства для развития химической промышленности и учитывая его жалкое состояние в России, Д. И. Менделеев в брошюре, посвященной Всемирной выставке в Париже 1887 г., которую он посетил, большое внимание уделил и содовому производству. Он дал ряд ценных рекомендаций, связанных с развитием отечественного содового производства, и указал на перспективность этой отрасли для прогресса русской промышленности [32]. Кроме Д. И. Менделеева, в поддержку всемерного развития содовой промышленности в 70-х годах XIX в. выступало Русское техническое общество и ряд отечественных ученых. Огромная заслуга в разработке теоретических основ аммиачно-содового производства принадлежит известному русскому ученому П. П. Федотьеву. В 1903—1904 гг. он опубликовал серию классических работ, объединенных общим названием — «Теория аммиачно-содового процесса», получивших всемирное признание [17; 30; 33; 34].

В 60-х годах XIX в. независимо от работ Э. Сольве в России был осуществлен промышленный аммиачно-содовый процесс. На основе работ русских химиков в 1868 г. в г. Лашеве Казанской губернии был основан аммиачно-содовый завод, пущенный намного раньше подобных предприятий в европейских странах. Директор этого завода инженер И. Я. Тисс, учитывая отсутствие в России производства аммиака, разработал способ, в котором аммиак получали переработкой отходов кожевенного производства. Технологический процесс в общих чертах состоял в растворении сухой поваренной соли в аммиачной воде и пропускании в рассол углекислго газа в аппаратах периодического действия. Для уменьшения потерь аммиака по его выходе из аппарата была усовершенствована система поглотителей [34; 35, с. 355].

В 1883 г. крупный аммиачно-содовый завод производительностью 6 тыс. т соды в год был основан в Березниках (северный Урал). Инициатор строительства завода — владелец солевара в районе Березников И. И. Любимов во время одной из своих поездок за границу заинтересовался аммиачно-содовым производством и заключил с фирмой Сольве договор на 20 лет. Общество Сольве брало на себя обязательство оказывать техническое содействие при сооружении предприятия, а кроме того, предоставляло половину капиталовложений, составивших в общей сложности 250 тыс. руб.

Содержание договора между Любимовым и обществом Сольве показывает, что по ряду экономических вопросов последнее находилось в более выгодном положении. Так, на все время существования товарищества (т. е. в течение 20 лет) Любимов не имел права соорудить аммиачно-содовых заводов в России или в любой другой стране. Вместе с тем на общество Сольве это распространялось лишь на 6 лет, до 31 декабря 1886 г. (исключение составляла только Пермская губерния, для которой договор был действителен 20 лет). Своими правами общество Сольве не замедлило воспользоваться в дальнейшем. Этот пример показывает существовавшую у усиливавшуюся в период монополистического капитализма конку-

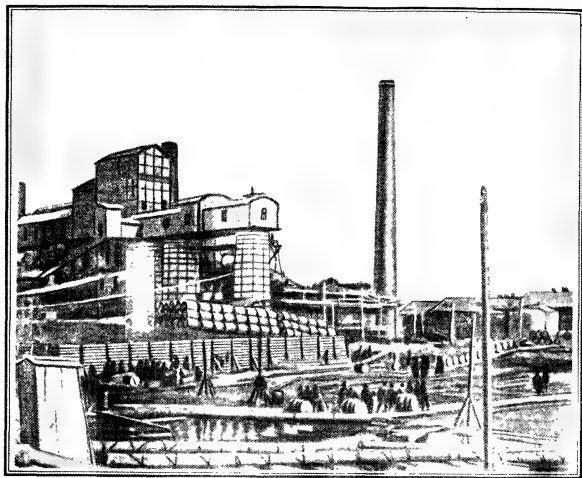
ряд и других преимуществ (механизация загрузки и выгрузки, получение более концентрированного углекислого газа и др.) [25, с. 86—89].

К 90-м годам XIX в. были внесены важные усовершенствования в конструкцию основных аппаратов для дистилляции (утилизация аммиака), позволявшие перейти на непрерывный технологический режим работы.

Э. Сольве, которому принадлежит огромная роль в промышленном внедрении и совершенствовании аммиачно-содового производства, вслед за первым своим заводом в Куйе построил крупный содовый завод в Домбале (Франция) — одно из самых мощных предприятий того времени. Содовое производство Сольве превратилось в крупнейшее монополистическое общество с большим числом заводов в разных странах Европы и Америки. К концу первой мировой войны общество располагало 25 аммиачно-содовыми заводами. К 1919 г. на предприятиях общества работало до 35 000 рабочих и служащих, вместо 100—110 рабочих, занятых на содовом заводе Э. Сольве в Куйе в начале 70-х годов XIX в. [15, с. 77, 161; 26, с. 22].

Наряду с Э. Сольве разработкой аммиачно-содового процесса занимались также специалисты ряда других стран [29—31]. По схеме немецкого инженера Гонигмана работали содовые заводы в Германии. Способ Шрайба был реализован в Германии и Австрии. Во Франции получили распространение способ Будювара. Каждый из названных процессов отличался один от другого в основном аппаратным оформлением и некоторыми технологическими особенностями. По сравнению со схемой Сольве все они имели существенный недостаток — периодичность работы.

Аммиачно-содовый процесс быстро прогрессировал. К нему был проявлен интерес даже в Англии, известной своей приверженностью к лебланковскому производству. В 1873 г. в Норвиче был пущен в эксплуатацию содовый завод, построенный фирмой «Бруннер, Монд и К», а на следующий год еще одно предприятие в Сендбече той же фирмы.



Березниковский содовый завод (Россия, начало XX в.)

рентную борьбу монополистов за свои права, за мировое экономическое господство.

Установленная на Березниковском содовом заводе аппаратура и оборудование включало: 5 печей, 2 дестиллера, 2 абсорбера, 5 дозеров, 9 карбонизационных колонн, 13 путч-филлеров, 17 сушилок, 2 газовых компрессора и т. п. Рост выпуска соды возрос к 1887 г. до 10 тыс. т.

Однако завод стал давать убытки ввиду высокой себестоимости продукции и падения рыночных цен на соду. Сказались также затруднения в приобретении аммиачных солей и некоторые другие причины. В результате Любимов вынужден был заключить новый договор, по которому фактическое руководство предприятием перешло к обществу Сольве. Фирма была переименована в акционерное общество «Любимов, Сольве и К°». В этом акте экономических взаимоотношений проявилась далеко идущая политика общества Сольве, которое на основе выгодного для себя первоначального договора с Любимовым, обладая огромными возможностями технического и экономического давления, прибрала к рукам руководство Березниковским содовым заводом.

Березниковский завод наряду с кальцинированной содой начал выпускать с 90-х годов XIX в. и соду каустическую. Выпуск каустической соды составлял в 1897 г. 6 тыс. т и достиг в 1900 г. 8250 т. Производство кальцинированной соды достигло в 1900 г. 24 тыс. т вместо 1 тыс. т, по сравнению с 1883 г. [25, с. 136—141].

В 1891 г. в России был пущен второй крупный аммиачно-содовый завод — Донецкий, также принадлежащий акционерному обществу «Любимов, Сольве и К°», который по механизации отдельных звеньев производства в начале XX в. находился на более высоком уровне по сравнению с другими предприятиями общества Сольве, находившимися в других странах. Достаточно отметить, что здесь было применено подземное растворение каменной соли и рассол с места добычи передавался на завод по 38-километровому трубопроводу. Аммиачную воду получали при коксовании каменного угля утилизацией с коксовых печей Донбасса. Производство кальцинированной соды на Донецком заводе возросло с 17,6 тыс. т в 1894 г. до 87,3 тыс. т в 1900 г. Кроме того, предприятие выпускало значительное количество каустической соды [25, с. 142—143].

Русский содовый рынок рос, и существовавшие предприятия уже не могли удовлетворить его спрос. В результате в России было образовано с участием германского капитала «Южно-Русское общество для выделки и продажи соды и других химических продуктов». Основной капитал общества составлял 1 млн. 425 тыс. руб. Общество построило в 1898 г. содовый завод в Славянске по аммиачной схеме Гонигмана. В первый год своей деятельности Славянский завод выпустил 6,6 тыс. т кальцинированной соды, увеличив в 1900 г. ее производство до 14,6 тыс. т.

Всего, по имеющимся данным, в России производилось в 1900 г. не менее 82 тыс. т. содовых продуктов. В 1914 г. выпуск кальцинированной соды в России возрос до 156,8 тыс. т. В последующие дореволюционные годы производство соды снижалось в связи с первой мировой войной. В 1917 г. русская содовая промышленность дала лишь 102 тыс. т соды [25, с. 205].

Об огромных темпах развития аммиачного содового производства свидетельствует тот факт, что уже к концу 80-х годов XIX в. почти во всех основных капиталистических странах — производителях соды (кроме Англии) аммиачный процесс быстро занимал ведущие позиции. В 1882 г. из общего количества выпускаемой соды на аммиачную соду приходилось в Англии 12% (52 тыс. т), во Франции 45% (57 тыс. т), в Германии 44% (44 тыс. т), в США 100% (11 тыс. т). Уже в 1886 г. соотношение в пользу аммиачной соды меняется еще резче таким образом: Англия 22%, Франция 60%, Германия 75%, США 100%. В 1900 г. даже в Англии, где сода производилась традиционным лебланковским способом, произошел значительный перелом в пользу аммиачного способа, обеспечившего выпуск почти 55% всей изготовляемой в этой стране соды. Выпуск аммиачной соды в Германии возрос до 88%, что же касается США, то, как и ранее, производство соды здесь базировалось исключительно на аммиачном процессе [26, с. 23].

Мировое производство соды в 1914 г. достигло 3 млн. т [26, с. 24].

3. КОНТАКТНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ

Для рассматриваемого периода характерен быстрый рост производства серной кислоты, вызванный возникновением новых отраслей промышленности, в том числе производства взрывчатых веществ и удобрений, синтетических красителей, нефтехимических продуктов, и возросшим спросом на нее исконно традиционных потребителей. Мировое производство серной кислоты, составлявшее в 1878 г. около 1 млн. т, возросло в 1910 г. до 5 млн. т, а к концу первой мировой войны уже достигло более 13 млн. т [14, с. XII; 26, с. 17].

На рубеже XIX—XX вв. серную кислоту производили двумя основными способами — камерным (традиционным) и контактным (новым).

К 70-м годам XIX в. камерный способ получил вполне современное технологическое оформление и был господствующим в сернокислотной промышленности. Принцип изготовления серной кислоты в камерном процессе следующий. Образующийся при обжиге сернистых руд натретый сернистый газ поступает в горячую башню Гловера. Сверху навстречу газовому потоку разбрызгивается разбавленная серная кислота («нитрозав»), содержащая нитрозилсерную кислоту. Часть сернистого газа окисляется в башне Гловера до серного ангидрида, который поглощается серной кислотой. Выделяющиеся из нитрозилсерной кислоты окислы азота в смеси с неокисленным сернистым газом поступают последовательно в ряд камер, в которые одновременно впускают пар. В камерах сернистый газ окисляется до серного ангидрида и, соединяясь с водой, образует серную кислоту. Усовершенствованные камерные установки обеспечивали непрерывность производства и круговорот окислов азота, вновь используемых в процессе.

Контактный способ получения серной кислоты хотя и был известен еще с первой половины XIX в. (П. Филипс, 1831 г.), однако все попытки реализовать его в промышленности существенных результатов не давали. Не удавалось долго установить причины, тормозящие каталитический эффект окисления сернистого газа.

Принцип контактного способа производства серной кислоты состоит в пропускании обжигового сернистого газа в смеси с воздухом через катализатор. В результате окисления сернистого газа образуется серный ангидрид, который затем поглощается водой, содержащейся в разбавленной серной кислоте. Контактный процесс позволяет получать серную кислоту любой концентрации, а также олеум — раствор серного ангидрида в безводной серной кислоте (дымящая серная кислота). Возможность получения с помощью контактного процесса крепкой серной кислоты — важное преимущество этого способа по сравнению с камерным способом.

Разработка и внедрение в промышленность контактного способа получения серной кислоты является крупнейшим научно-техническим достижением рассматриваемого периода. Над его осуществлением упорно работали десятки лет ученые и инженеры многих стран, пытались поставить процесс на широкую практическую основу.

1875 год был в этом отношении примечательным благодаря классическим работам немецкого ученого К. А. Винклера, положившего начало раз-

витию промышленного контактного процесса. Винклер получал концентрированную серную кислоту взаимодействием смеси сернистого газа и кислорода в присутствии катализатора — платинированного асбеста. Кроме платинированного асбеста, он предложил в качестве катализаторов также и окислы металлов, отмечая, что контактный процесс может удасться только тогда, когда контактное вещество будет иметь возможно большую поверхность. В качестве «носителей» платины Винклер предлагал применять стеклянную вату и кизельгур — тонкопористую, легкую горючую породу — и некоторые другие материалы [14, с. 14—16]. Однако следует иметь в виду, что сам факт применения платины в качестве катализатора не является притоном Винклера.

Платина для этих целей была предложена еще в 1831 г. П. Филипсом. Интересно, что в своих опытах по получению олеума К. А. Винклер воспользовался известным свойством обыкновенной концентрированной серной кислоты разлагаться при сильном нагревании на сернистый газ, кислород и пар. Пар удаляли поглощением крепкой серной кислотой, а оставшуюся сухую смесь сернистого газа и кислорода пропускали над платинированным асбестом, нагретым до умеренного красного каления. Таким образом в серный ангидрид переводилось 73,7% от всей употребленной кислоты. Эти опыты Винклера и предлагал воспроизвести в большом масштабе. В то время когда стоимость олеума была очень высокой, способ Винклера, дававший более 70% выхода серного ангидрида, считался весьма хорошим, что и служило поводом к его использованию в промышленности.

В Германии возник ряд заводов для получения олеума по способу Винклера. При этом делались неустанные попытки усовершенствовать этот способ, а именно преодолевать технические трудности, обусловленные необходимостью вести процесс разложения серной кислоты на сернистый газ, кислород и воду при очень высоких температурных условиях, приводивших к быстрому разрушению технологической аппаратуры.

Последующие исследования и практические наблюдения химиков и специалистов показали, что этот способ весьма труден, экономически не всегда выгоден. Было найдено, что предусмотренное способом Винклера получение смеси, состоящей из двух объемов сернистого ангидрида и одного объема кислорода, необоснованно и даже вредно. Точка зрения Винклера о необходимости иметь стехиометрическую смесь в указанных соотношениях объемов реагирующих газов не оправдалась. Здесь не был учтен один из основополагающих законов химии, определяющий основные положения теории химического равновесия, — закон действующих масс, открытый К. М. Гульдбергом и П. Вааге в 1864—1867 гг. Позже Винклер сам пришел к тому же выводу.

Несмотря на это, способ Винклера продолжали применять в Германии и в некоторых других странах в конце XIX в. Представляют интерес сведения профессора Г. Лунге о фабриках, работавших в то время по способу Винклера. Серную кислоту разлагали на сернистый газ, кислород и воду в вертикальных глиняных глазурированных ретортах (изготовленных из смеси 3 частей шамотных обломков размером с горошину с одной частью бельгийской огнеупорной глины). «Реторты находились все в огне и имели сверху и внизу гидравлические запоры для наполнения реторты кислотой и проч. Плотность этих запоров достигалась заливкой их расплавленным стеклом. В первой реторте стоял цилиндр, в который вливалась серная ки-

слота из платиновой трубочки, так, что серная кислота таким образом совершенно не касалась стенок реторты; в этом цилиндре происходило испарение и частью разложение этих образовавшихся паров кислоты в колбеобразном пространстве между цилиндром и ретортой, вполне же — во второй реторте, в которую поступали уже газы. Трубопроводом служила двойная колечная труба, которая своими вертикальными коленами проходила через нижние неподвижные днища обеих реторт, а горизонтальная часть трубы, находясь среди огня, вела от одной реторты к другой. Из второй реторты газы шли вверх в конденсатор для осаднения большей части воды, затем в сушильную башню и в контактный аппарат, состоящий из чугунных реторт, наполненных проволочными сетками, на которых лежал платинированный асбест» [14, с. 23—24].

Большую роль в развитии контактного способа получения серной кислоты сыграла Баденская ангидриновая и содовая фабрика (БАСФ) в Людвигсгафене, впервые запатентованная свой способ в 1898 г. в Германии, Англии, Франции, Бельгии, Америке, а в 1901 г. в России. Разработка контактного способа на этой фабрике осуществлялась под руководством талантливого немецкого инженера Р. Книтца, который в результате многолетней упорной работы сумел преодолеть многие технологические затруднения и вывести новый процесс на широкую промышленную дорогу. Р. Книтц своими оригинальными опытами доказал, что для успешного осуществления контактного процесса необходима очистка газов. Им установлен эффект «отравления» катализатора некоторыми примесями, из которых наиболее вреден мышьяк.

Баденская фабрика получила много патентов в различных странах мира, в том числе — на приспособления и аппараты для охлаждения газа, очищения газов, на контактные аппараты, контактную массу и способы ее регенерации, на способы поглощения ангидрида серной кислотой и др.

О динамике роста выпуска серной кислоты контактным способом на Баденской фабрике свидетельствуют следующие данные: за период с 1888 по 1900 г. производство серного ангидрида возросло с 18,5 до 116 тыс. т, т. е. более чем в 6 раз [14, с. 100].

В России начало контактному производству олеума было положено на Тентелевском химическом заводе в Петербурге. В конце XIX в. здесь был установлен первый пробный контактный аппарат для переработки в олеум серного колчедана, а в 1903 г. — промышленная установка. В 1913 г. Тентелевский завод уже имел шесть действующих контактных систем, каждая производительностью около 5 тыс. т серной кислоты в год.

Разработанная на Тентелевском химическом заводе контактная система отличалась высокими технико-экономическими данными. Она не только могла конкурировать с разработанной впервые на Баденской ангидриновой и содовой фабрике в Германии действующей системой, но и в некоторых отношениях превосходила ее. Контактная система Тентелевского завода получила широкое распространение не только в России, но и за рубежом — в Германии, США, Англии, Японии, Швеции, Франции, Румынии, Италии, Норвегии. В 1916 г. за рубежом работало 30 тентелевских систем.

Контактные тентелевские системы были установлены в 1905 г. на заводе Нобеля в Баку для обеспечения серной кислотой нужд нефтеперерабатывающих предприятий. Пять тентелевских систем начали работать в 1910 г. на заводах П. К. Ушкова (три около Самары и две — в Казани).

По одной тентелевской контактной системе было в 1911 г. на заводе Эрлиха в Риге, одна в Москве и четыре на двух заводах взрывчатых веществ [36, с. 207].

Кроме того, в России на ряде заводов применяли контактную систему Грилло—Шредера. В период первой мировой войны в России действовало 57 сернокислотных заводов, из которых 13 производили кислоту контактным способом, 6 имели контактные и камерные установки, на остальных 38 заводах — камерным способом. В условиях войны резко возрос спрос на олеум заводов взрывчатых веществ, оказавший влияние на строительство контактных установок. Так, в 1917 г. в России уже насчитывалось 48 контактных систем, из которых 20 тентелевских [36, с. 208, 211].

Производство контактной серной кислоты (олеума) в России неуклонно росло. За период с 1910 по 1916 г. ее выпуск возрос с 9,2 до 84,4 тыс. т. Предполагалось, что в 1917 г. производство контактной серной кислоты превысит 100 тыс. т. Из всей производимой в 1917 г. в России серной кислоты на долю контактной приходилось около 25% [36, с. 207].

В мировой сернокислотной промышленности к концу второго десятилетия XX в. опережающее развитие получил контактный способ, однако камерным способом производили еще более половины серной кислоты.

4. РАЗРЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ФИКСАЦИИ АЗОТА ВОЗДУХА

Достижения химии и химической технологии конца XIX — начала XX в. неразрывно связаны с разработкой методов и способов фиксации азота воздуха. Производство азотной кислоты, взрывчатых веществ, азотных удобрений, синтез новых органических соединений и различных химических продуктов в значительной степени определили направленность и темпы развития химической промышленности.

В 70—80-х годах XIX в. в Германии возникает мощная отрасль горной и химической промышленности — калийная. Вплоть до первой мировой войны Германия была монополистом в этой области, снабжая калийными удобрениями почти все страны мира.

Примерно в это же время быстро развивается промышленность азотных удобрений на основе главным образом открытых еще в начале XIX в. огромных месторождений натриевой селитры в Чили. Чилийскую селитру широко экспортировали во многие страны мира как сырье для производства азотной кислоты, взрывчатых веществ, азотнокислых солей. В качестве азотного удобрения чилийскую селитру начали широко применять с 80—90-х годов XIX в. Мировая добыча селитры быстро возрастала в начале текущего столетия, достигнув в 1913 г. 2600 тыс. т и в 1917 г. 3000 тыс. т [37, с. 43; 38, с. 307].

Под влиянием прогнозов некоторых ученых, утверждавших о скором истощении запасов чилийской селитры, в разных странах развернулись усиленные поиски методов получения азотных соединений.

Вначале внимание было обращено на коксохимические производства. Известно, что в каменном угле содержится до 1—2% азота, главным образом в виде аммиака.

Фиксация азота воздуха в электрической дуге

Способ фиксации азота воздуха в электрической дуге состоит в окислении азота при высоких температурах. Еще в 1780 г. английский ученый Д. Пристли, пропуская электрическую искру через объем воздуха, заключенный над водой, обнаружил, что объем воздуха уменьшился, а полученный раствор приобрел кислую реакцию. Этому явлению Пристли не дал правильного толкования.

Сотесственик Пристли физик и химик Г. Кавендиш повторил в 1784 г. его опыты и показал, что окислы азота при растворении в щелочном растворе образовывали соли азотной и азотистой кислот.

В течение последующих 100 лет многие ученые проявляли живой интерес к проблеме связывания атмосферного азота (Д. Дьюар, 1880 г.; В. Крукс, 1892 г.; Д. В. Рэлей, 1895 г. и др.). В 1897 г. Д. В. Рэлей на основании опытов, проведенных в построенном им аппарате для окисления азота в сильной электрической дуге, установил выход азотной кислоты, достигавший 50 г на 1 кВт·ч. Позже подобные исследования проводили другие исследователи [39, с. 22—23; 42, с. 12—14].

К началу XX в. были достигнуты крупные успехи в области теоретического изучения и постановки экспериментально-практических работ, связанных с окислением атмосферного азота. Эти работы легли в основу промышленного способа фиксации азота воздуха в электрической дуге.

Не случайно, что в конце XIX — начале XX в. на этот способ в разных странах были взяты патенты, ставившие конечной целью получение азотной кислоты или ее солей. Содержание и описание патентов свидетельствуют о том, что в это время уже созрели научно-технические предпосылки для постановки способа на промышленную основу.

В 1901 г. в США даже было учреждено промышленное общество «Atmospheric products Company» на Иатасгорском водопадке. В 1902 г. здесь был построен по способу Ч. Бродли и Д. Лоза небольшой завод. Принцип действия аппаратов, применявшихся на предприятии этой компании, состоял в применении большого числа мелких дуговых разрядов. Установка работала при напряжении от 10 тыс. до 15 тыс. В и силой от 1 до 0,001 А. Одновременно в установке горело 250 электрических дуг. Несмотря на различные технические усовершенствования этого способа, добиться экономичного выхода азотной кислоты не удалось. Общество, располагавшее капиталом в 1 млн. долл., прекратило свое существование в 1904 г. [42, с. 39].

Первую промышленную установку для получения азотной кислоты по способу фиксации азота воздуха в электрической дуге построили норвежские ученые — профессор физики Х. Биркеланд и инженер С. Эйде. Биркеланд предложил оригинальное решение, которое дало возможность придавать электрической дуге растянутую по окружности форму, что чрезвычайно повысило эффективность окисления азота. Это решение он заимствовал из давно известного свойства вольтовой дуги отклоняться в магнитном поле от ее начального положения. В процессе работы установки дуга растягивается до тех пор, пока не «порвется» и не заменится новой. Такое прерывание и возникновение новой дуги в зависимости от условий может происходить с частотой от нескольких сот до 1000 раз в секунду. При соответствующей силе тока дуга, принимая форму сплошного и очень

На наиболее совершенных предприятиях делались попытки утилизировать аммиак с коксовых печей металлургических заводов. Однако в целом можно отметить несовершенство технических средств. В результате большая часть коксовых газов не утилизировалась и выпускалась в атмосферу. Было подсчитано, что при мировом годовом производстве каменного угля 150 млн. т теоретически можно было получить более 2 млн. т азота. Однако лишь 1/3 часть этого количества улавливалась, о чем свидетельствуют данные по германской и американской промышленности, относящиеся к 1911—1914 гг. Получаемый с коксовых печей аммиак начали использовать с 70-х годов XIX в. для производства ценного удобрения — сульфата аммония, содержащего 20,5% азота [26, с. 28].

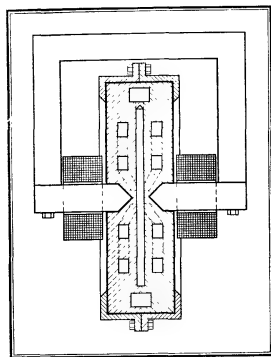
Мировое потребление сульфата аммония возрастало чрезвычайно быстро, с 210 тыс. т в 1890 г. до 1300—1350 тыс. т в 1914 г. Об экономической важности проблемы утилизации азота газов коксохимических производств свидетельствует, например, тот факт, что в Германии в 1911 г. 50% азота, использованного для нужд сельского хозяйства, получали в результате утилизации аммиака, а остальную половину покрывали ввозом селитры из Чили [26, с. 29].

В 1918 г. в США на различных предприятиях действовало 10 тыс. мощных коксовых печей с рециркуляцией, где перерабатывали ежегодно до 50 млн. т каменного угля. В Германии в то время функционировало свыше 20 тыс. печей меньших размеров, перерабатывавших 41 млн. т угля, и в Англии около 10 тыс. печей, потреблявших почти 21 млн. т каменного угля. В России установки для улавливания продуктов сухой перегонки каменного угля были сооружены на ряде заводов Донецкого бассейна, и в период первой мировой войны это дело в России быстро развивалось [39, с. 184—185]. Производство кокса в России составляло в 1913 г. 4,4 млн. т, что давало возможность получить 9—11 тыс. т аммиака. Но действительное производство было меньше. На основе утилизации аммиака коксохимических заводов в 1913 г. у нас было получено около 15 тыс. т сульфата аммония [40, с. 18].

В мировой химической промышленности отчетливо намечались тенденции осуществления фиксации азота воздуха, интерес к которой ученые проявляли и ранее.

Еще в 1869 г. Д. И. Менделеев поставил перед наукой задачу фиксации азота воздуха, о чем писал: «Одну из задач прикладной химии составляет отыскание технически выгодного способа получить из азота воздуха его соединения, заключающие ассимилируемый азот... Будущность сельского хозяйства много зависит от открытия подобного способа» [41, с. 362].

И действительно, как и предвидел Д. И. Менделеев, проблема связанного азота стала одним из ведущих направлений развития химии и химической технологии в конце XIX — начале XX в. В результате упорного труда ученых и инженеров проблема связанного азота была успешно осуществлена в рассматриваемый период. В основу разработанной технологии были положены 3 способа фиксации азота: синтезом азотной кислоты из воздуха в электрической дуге; связыванием атмосферного азота в электрических печах с получением азотсодержащего продукта — диамида кальция; каталитическим синтезом аммиака из азота и водорода под высоким давлением.



Разрез печи Х. Биркеланда и С. Эйде для фиксации азота воздуха (Норвегия, 1903—1905 гг.)

тонкого диска, достигала диаметра 1—2 м. Преимущество дискообразной дуги — возможность получать более высокую температуру и быстро охлаждать получаемый продукт.

Работы по практической разработке способа Биркеланда и Эйде начались в 1903 г. в небольшой опытной лаборатории (в Христиании), оборудованной аппаратом мощностью всего в 3 л. с. После этого опыты были переведены в созданную норвежским электрохимическим обществом новую лабораторию, в которой применяли установку мощностью 10—20 л. с. В процессе расширения работы в Анкерлоке был построен опытный завод небольшой мощности (150 л. с.) и вслед за ним завод в Васмоэ на 1 тыс. л. с.

На основе успешных опытно-промышленных испытаний изобретений Биркеланда и Эйде в 1905 г. было построено большое предприятие

для производства «воздушной селитры» в Ноттене мощностью 2500 л. с. В 1907 г. промышленное общество по эксплуатации рассматриваемого способа построило завод в Сведельфосе на 40 тыс. и в 1910 г. — в Рукафоссе на 140 тыс. л. с. Электроэнергия для снабжения созданных заводов подавалась с электростанций, построенных на водопадах Тин-Эльф, Сведельфос.

Ноттенский завод состоял из четырех корпусов, в которых соответственно располагались отделения: электрических печей с находящимися при них башнями для окисления окиси азота; поглотительных башен для получения азотной кислоты; переработки азотной кислоты в кальциевую селитру; упаковки и склада готовой продукции. Завод был оборудован 4 печами по 500—700 кВт каждая. Они были включены в цепь трехфазного генератора мощностью 2 тыс. кВт и напряжением 5 тыс. В.

Печь была снабжена двумя медными полыми электродами, охлаждаемыми во время работы циркулирующей в них водой. Снаружи печь имела вид огромного плоского цилиндра, в центре которого в горизонтальной плоскости расположено массивный электромагнит, опирающийся на две подставки. Корпус печи — железный с шмотной набивкой, в которой были предусмотрены каналы. Через них проходил и подогревался воздух, подаваемый в печь вентилятором. Через печь прогонялось до 25 м³ воздуха в минуту. В процессе «сжигания» азота из печи выходила смесь воздуха с двумя объемными процентами окиси азота при температуре 1000° С. Для дальнейшей переработки окиси азота в двуокись воздушную смесь охлаждали, нагревая паровые котлы. Полученный пар использовали для выпаривания растворов конечного продукта — кальциевой селитры. Для

дальнейшего охлаждения воздушную смесь пропускали еще через несколько холодильников и с температурой около 50° С подавали в окислительную башню, где ее скорость значительно снижалась и большая часть окиси азота, соединяясь с кислородом, переходила в двуокись. Из окислительной башни газы направлялись в поглотительные гранитные башни, наполненные кусками кварца, орошаемые сверху водой. Здесь двуокись азота растворялась с образованием азотной и азотистой кислот, которая вследствие продолжающегося процесса окисления постепенно переходила в азотную кислоту. Стекающий вниз раствор вновь направляли в верхнюю часть поглотительной башни, где в процессе насыщения двуокисью азота повышалась его концентрация.

Установка Биркеланда и Эйде позволяла поглощать до 95% всех образующихся окислов азота и превращать их в 50%-ную азотную кислоту.

На конечной стадии газы промывались известковым молоком (гидрат окиси кальция), которое нейтрализовало последние остатки непоглощенной водой двуокиси азота.

Полученную азотную кислоту в Норвегии обрабатывали известняком (карбонат кальция) и превращали таким образом в кальциевую или «воздушную селитру». Упаренным до известной крепости раствором селитры наполняли железные бочки, где он застывал [43, с. 17—21].

В результате усиленного развития в Норвегии способа Биркеланда и Эйде эта страна начала вывозить на внешний рынок «воздушную селитру». Ее экспорт составил, т: 1905 г.— 115,14; 1906 г.— 588,68; 1907 г.— 1343,83 [42]. В 1912 г. в Норвегии суммарная мощность гидроэлектрических установок, обслуживающих предприятия, производящие азотную кислоту из воздуха, составляла 400 тыс. л. с. [39, с. 183—184].

Способ фиксации азота воздуха в вольтовой дуге был использован в Германии на Баденской ангильновой и содовой фабрике. Здесь применяли электрическую печь, разработанную в 1905 г. Шенхерром и Гессбергером. Отличие этой печи состояло в том, что в ней использовали обычную вольтовую дугу. Она была заключена в железную трубу, через которую продували воздух, предназначенный для окисления азота. Длина электрической дуги, обладавшей устойчивостью, доходила в такой печи до 7 м. Выход окиси азота был почти в 2 раза выше по сравнению с печами Биркеланда и Эйде [42, с. 47—49].

К 1914 г. относится появление в южной Франции нескольких небольших заводов, реализовавших способ производства азотной кислоты из воздуха окислением азота в пламени вольтовой дуги [39, с. 184].

Получением азотной кислоты фиксацией азота воздуха заинтересовались в России. В 1905 г. при Главном инженерном управлении военного министерства была создана межведомственная Комиссия по вопросу добывания азотной кислоты окислением азота воздуха. Инициатором организации комиссии был заведующий химической лабораторией Николаевской инженерной академии А. И. Горбов.

Разработкой конструкции электродуговой печи занимались А. И. Горбов и профессор Петербургского политехнического института В. Ф. Миткевич (впоследствии академик).

14 мая 1906 г. Горбов дал описание печи, которую применяли для лабораторных опытов. Печь системы А. И. Горбова и В. Ф. Миткевича была запатентована в ряде стран, в том числе и в Норвегии. В Германии патент

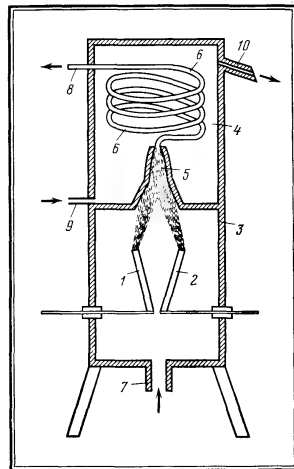


Схема печи А. И. Горбова и В. Ф. Миткевича для фиксации азота воздуха (Россия, 1906)

1 и 2 — электроды, создающие вольтовую дугу; 3 — цилиндрическая печь; 4 — пространство, заполняемое водой для охлаждения; 5 — вольфрамовая дуга; 6 — эмвекс (холодильник) для окислов азота; 7 — ввод воздуха в печь; 8 — выход из печи охлажденных окислов азота; 9 — штуцер для ввода воды, охлаждающей эмвекс; 10 — штуцер для вывода воды

вича 70, 88 г., в печах Биркеланда и Эйде 67, 35 г., а на Баденской англицкой и содовой фабрике — 61, 63 г. на 1 кВт·ч [37, с. 317].

Однако результаты замечательно почина русских новаторов в нашей стране не были реализованы. Военное ведомство отказалось от постройки на реке Суне завода азотной кислоты по способу А. И. Горбова и В. Ф. Миткевича, считая ее «нецелесообразной». Этот вопрос обсуждался в Военном ведомстве длительное время [38, с. 330].

Подготовившая сказанное, можно сделать вывод, что способ фиксации азота воздуха в электрической дуге развивался главным образом в странах с дешевой электрической энергией. Однако он был не единственным, и по

был получен в 1906 г., а привилегия в России была выдана в результате волокиты только в 1908 г. Печь Горбова и Миткевича, на которой они проводили в 1906 г. свои опыты, работала при напряжении 3—4 тыс. В, мощность в среднем 550 Вт. В результате продолжавшихся работ по усовершенствованию конструкции печи Горбову и Миткевичу удалось поднять ее экономичность, которая характеризовалась даже более высокими показателями, чем печи Биркеланда и Эйде.

Опытная печь А. И. Горбова и В. Ф. Миткевича по своим показателям превосходила печи зарубежных конструкций, о чем свидетельствуют результаты, полученные при ее испытании на Сестрорецком заводе (1912 г.). Поэтому Комиссия по вопросу добывания азотной кислоты окислением азота воздуха постановила: «1. Опыты на Сестрорецком заводе могут быть закончены. 2. Признать тип печи достаточно разработанным для того, чтобы перейти к заводской работе, так как выходы азотной кислоты не хуже, а проценты окис азота выше, при которых работают в Норвегии и на заводе Соединенных ведомств Германии и Австрии в Инсбруке. 3. При разработке проекта иметь в виду как источник энергии Сунские водопады» (ныне Карельская АССР) [38, с. 317—318]. Выход азотной кислоты достигал в печах Горбова и Митке-

мере развития новых, экономически более выгодных способов, особенно способа каталитического окисления аммиака, он потерял свое первоначальное значение.

Цианамидный способ связывания свободного азота

Развитию цианамидного процесса связывания азота воздуха, получившего широкое практическое применение в начале текущего столетия, предшествовал так называемый цианидный метод связывания азота¹.

В 1775 г. шведский химик К. Шееле открыл самую первую из известных нам реакций, с помощью которой свободный азот был связан в виде щелочно-го цианида (цианистого натрия), полученного нагреванием углекислого натрия и угля при доступе воздуха.

В последующие годы над цианидным методом работали ученые разных стран. Так, в 1828 г. Р. Дефосс получил цианидный калий, пропуская азот через накаленную докрасна смесь угля и поташа в железной трубке. В 1839 г. Л. Томпсон открыл эффект ускорения этой реакции, прибавляя к реагирующей смеси тонко размельченное железо. На основе указанного способа в 1842 г. во Франции была построена первая установка по производству цианистого калия [44].

Исследования цианидного процесса продолжались вплоть до конца XIX в. В результате к этому времени наибольшее практическое распространение получило производство цианидов щелочноземельных металлов (например, цианида бария), а не более дорогих щелочных металлов, с которыми и началось развитие этого процесса.

В 90-х годах XIX в. цианидный способ был заменен цианамидным способом связывания свободного азота. По существу, цианидный способ и привел к нему исследователей. Произошла своего рода трансформация цианидного способа в цианамидный, начало которому было положено работами немецких химиков Адольфа Франка и Н. Каро. Изучая цианидный способ, они высказали в 1895 г. предположение, что, кроме цианидов, в качестве промежуточных продуктов могут образовываться и карбиды. В результате исследований ученые убедились в справедливости своего предположения. При непосредственной обработке азотом карбидов щелочноземельных металлов образуются и цианиды, и цианамиды, соотношение которых определяется условиями реакции.

В 1901 г. Альберт Франк (сын Адольфа Франка) высказал предположение о целесообразности использовать цианамид кальция, содержащий 20% связанного азота, в качестве удобрения. Его предположения оправдались и дали хорошие результаты. Цианамид кальция при действии пара легко разлагается на аммиак и углекислый кальций. В почве он медленно разлагается с образованием солей аммония — ценных удобрений, содержащих связанный азот.

Технология получения цианамиды кальция по способу Франка—Каро сводится к пропусканию струи азота над нагреваемым до температуры 1000°С карбидом кальция.

¹ Цианиды — соли синильной кислоты $\text{HCN}(\text{H}-\text{C}\equiv\text{N})$. Цианиды щелочных металлов MeCN и щелочноземельных металлов $\text{Me}(\text{CN})_2$, (Me — металл). Цианамиды — соли амида циановой кислоты (цианамиды) $\text{H}_2\text{CN}_2(\text{H}_2\text{N}-\text{C}\equiv\text{N})$.

Первый большой завод цианамидов кальция был построен в Италии в 1906 г. К началу первой мировой войны производство цианамидов кальция было внедрено уже в 9 странах Европы, Америки и Азии, в том числе в Германии, Италии, Франции, Швейцарии, Норвегии, Канаде, Японии и др. К концу второго десятилетия текущего столетия цианамид кальция производился на 14 заводах, из которых три функционировали в Германии, по два завода — в Норвегии, Швеции и Италии, по одному — во Франции, Швейцарии, Австрии, Японии и Канаде [26, с. 30].

Мировое производство цианамидов кальция, или «известкового азота», как часто называли этот продукт, росло чрезвычайно быстро и составляло [45, с. 147], т:

Год	Год	Год
1906 . . . 500	1940 . . . 30 000	1943 . . . 153 000
1907 . . . 2 500	1941 . . . 52 000	1944 . . . 208 000
1908 . . . 8 300	1942 . . . 95 000	1946 . . . 209 000
1909 . . . 16 000		

В 1921 г. мировое производство цианамидов кальция достигло 500 тыс. т в год. Но затем строительство новых заводов почти прекратилось, так как преобладающее значение получил более прогрессивный метод промышленного производства аммиака — синтез аммиака из азота и водорода.

В дореволюционной России производство цианамидов кальция отсутствовало. Это ценное химическое удобрение, которое, кроме того, было важным полуфабрикатом для различных отраслей химической промышленности (производство цианистых соединений, необходимых в золотопромышленности, аммиака, карбамида и многих фармацевтических и других препаратов), ввозили в нашу страну. Производство цианамидов кальция было создано у нас уже после Великой Октябрьской революции [45, с. 148].

Цианамид кальция как ценное химическое удобрение не потерял своего значения до сих пор.

Технический продукт по внешнему виду представляет темно-серый порошок, состоящий из смеси собственно цианамидов кальция (60%) и свободного углерода. Содержание азота в нем колеблется от 18 до 20%.

Кроме указанных способов связывания атмосферного азота, следует упомянуть нитридный метод. Он основан на свойстве азота непосредственно соединяться со многими химическими элементами — литием, кальцием, магнием, алюминием, кремнием, бором, титаном и др. Получающиеся при этом нитриды разлагаются водой с выделением аммиака. В технике рассматриваемого периода применяли нитрид алюминия (AlN). Его изготовляли не из чистого алюминия, стоимость которого в конце XIX — начале XX в. была высокой, а из алюминиевой руды — боксита. Для этого смесь алюминиевой руды с углем нагревали до 1600—1800° С при одновременном пропускании азота (способ Серпека) [40, с. 26—27].

Каталитический синтез аммиака

Каталитический синтез аммиака из исходных азота и водорода является выдающимся достижением химической науки и промышленности начала XX в. К этому времени было накоплено очень много сведений о реакции

синтеза аммиака. Интерес к синтезу аммиака особенно проявился после установления в 1784—1785 гг. французским химиком К. Л. Бертолле химического состава аммиака. Это открытие имело важное значение, так как до этого считалось, что в состав аммиака, кроме азота и водорода, входят также и кислород.

Однако продолжавшиеся на протяжении всего XIX столетия попытки ученых реализовать идею синтеза аммиака не давали положительных результатов вплоть до начала XX в. Огромное значение имели успехи физической химии, в результате которых были получены важные результаты, связанные с изучением химического равновесия и кинетики химических реакций.

Особенно значительна роль А. Ле Шателье, сформулировавшего принцип смещения подвижного равновесия, который лег в основу теоретического обоснования синтеза аммиака. В 1900 г. ученый начал работы в области синтеза аммиака и в 1901 г. запатентовал изобретение, сформулированное в нем основные химико-физические условия получения аммиака из азота и водорода. Возможность протекания процесса обеспечивалась соответствующим давлением и присутствием контактных веществ — платиновой губки и железа. Кроме того, А. Ле Шателье предложил использовать для этих целей взрыв с помощью электрической искры, дающий очень высокое давление. Ле Шателье не мог практически осуществить синтез аммиака, но, сознательно используя в своих экспериментах высокое давление, впервые дал правильное теоретическое обоснование процессу и по праву считается его родоначальником. Над реализацией процесса работал также В. Оствальд и ряд других ученых.

Но наибольший вклад в осуществление синтеза аммиака внесли немецкие ученые Ф. Габер и В. Нернст, исследовавшие процессы термодинамики газовых реакций. Изучение вопроса, связанного с синтезом аммиака, было начато Ф. Габером в 1904—1905 гг. и в 1906—1907 гг. — В. Нернстом. В. Нернст, определив тепловой эффект реакции, а также теплоты веществ при различных температурах, способствовал практическому осуществлению синтеза аммиака.

В 1904—1905 гг. Ф. Габер изучает состояние равновесия аммиака, проводит первые исследования. Работы велись при атмосферном давлении и какого-либо практического выхода не дали. С 1907 г. Ф. Габер расширяет исследования. Он опровергает существовавшую до этого времени точку зрения о реакционной инертности азота при низких температурах, показав, что при необходимых давлениях синтез может быть осуществлен в промышленном варианте. В это время он проводит эксперименты при давлении от 30 до 200 ат в широком температурном интервале (до 1000° С), подбирает эффективные катализаторы. В 1908 г. опытами Ф. Габера и Р. Ле Россиньоля было установлено, что наилучшие результаты выхода аммиака (9—11%) получаются при урановом и осмиевом катализаторах [46].

Первый аппарат высокого давления для химических реакций был построен Ф. Габером в его лаборатории в Карлсруэ. Аппарат состоял из узлов, в основном характерных для установок высокого давления: печи для синтеза; насоса, обеспечивающего циркуляцию газа; аппаратуры, позволяющей отделять продукты реакции, не снижая давления исходной газовой смеси.

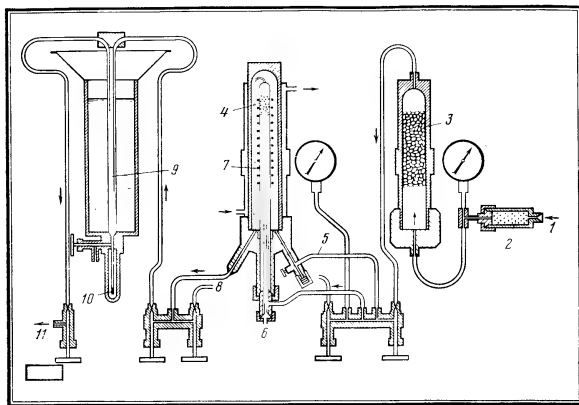


Схема установки Ф. Габера для синтеза аммиака (1909 г.)

1 — подвод газовой смеси под давлением посредством циркуляционного насоса; 2 — очистка от следов кислорода; 3 — осушитель; 4 — пространство, заполненное катализатором; 5 — трубка для выравнивания давления; 6 — термозащитный кожух; 7 — электроподогрев; 8 — отбор газа, содержащего аммиак; 9 — конденсатор; 10 — выделение жидкого аммиака; 11 — возвращение газа под высоким давлением в циркуляционный насос

В 1909 г. Ф. Габер на лабораторной установке в Карлсруэ впервые получает синтетический аммиак. В 1909 г. Ф. Габеру был выдан патент на синтез аммиака из элементов под высоким давлением. С этого времени работа по синтезу аммиака из лаборатории в Карлсруэ переносится на Баденскую анилиновую и содовую фабрику, где к работам подключается инженер К. Бош [47].

К. Бош поставил задачу создать из небольшой лабораторной установки промышленный агрегат. В октябре 1910 г. К. Бош с инженерным персоналом Баденской анилиновой и содовой фабрики разработал оригинальный контактный аппарат. В начале 1911 г. на сконструированной установке стали регулярно получать синтетический аммиак и за год произвели около 11 т аммиака.

В 1912 г. при Баденской анилиновой и содовой фабрике создается специальный азотный отдел, который возглавлял К. Бош. Установленную здесь модельную печь увеличили в длину до 4 м, в результате чего в печь вводили 30 кг контактной массы. Ежедневно изготавливали при давлении 150—200 ат до 1000 кг аммиака. К 23 июля 1913 г. эта первая в мире опытно-промышленная установка, работающая под высоким давлением, выдала в общей сложности 1 млн. кг аммиака.

Наряду с действующей установкой в г. Оппау в Германии в 1913 г. построен первый в мире завод синтетического аммиака, который выпускал до 10 тыс. кг аммиака ежедневно. Завод расширился и уже в 1914 г. приступил к строительству второй очереди.

Мощность завода в Оппау росла чрезвычайно быстро, о чем свидетельствуют данные ежедневного производства аммиака, составившего в августе 1915 г. 30 т, сентябре — 40 т, октябре — 50 т, ноябре — 75 т; в январе 1916 г. — 100 т, июле — 200 т. В декабре 1917 г. завод производил 7133 т аммиака.

По отзывам современников завод синтетического аммиака по мощности оборудования, его грандиозным размерам может соперничать лишь с крупным металлургическим предприятием. Завод в Оппау был оборудован комплексом различных машин и аппаратов, в том числе: печами для производства водяного и генераторного газов (первый служил сырьем для получения водорода, второй — топливом для привода двигателей); машинами Линде для выделения водорода из водяного газа и азота из воздуха; турбинами для промывания водорода с целью очистки от углекислого газа, сероводорода и других примесей; компрессорами для сжатия газов; печами, в которых смесь азота с водородом под давлением и при соответствующей температуре циркулировала через катализатор, давая аммиак, вымываемый водой по мере его образования. Полученный гидрат окиси аммония затем стекал в колонны. Здесь он нагревался для выделения из него аммиака, который направлялся в поглотительные аппараты, содержащие насыщенный раствор сульфата аммония, подкисленного серной кислотой. В результате реакции нейтрализации этой серной кислоты поступающим аммиаком выделялось значительное количество тепла, раствор частично унаживался и часть образующегося при этом сульфата аммония выпадала в осадок. Его отфильтровывали и центрифугировали, а к оставшемуся раствору вновь добавляли необходимое количество серной кислоты. Полученная после центрифугирования белая соль (сульфат аммония) с содержанием около 1,5% воды поступала в продажу [43, с. 29—30].

Производство сульфата аммония на заводе в Оппау к концу 1915 г. составляло 150 тыс. т.

В 1915 и 1917 гг. завод в Оппау подвергся авиационным бомбардировкам и был сильно разрушен. В связи с этим, а также в результате всевозрастающего спроса военной промышленности Германии на связанный азот в этой стране началось строительство еще более мощного завода синтетического аммиака в Лейпе близ Мерзебурга. 27 апреля 1917 г. это предприятие выдало первый аммиак. Производство обоих заводов достигло 300 тыс. т связанного азота в год (или 1,5 млн. т сульфата аммония).

Видные ученые и экономисты того времени отмечали, что если бы Германия не обеспечила себя в годы первой мировой войны производством связанного азота, необходимого для получения взрывчатых веществ (имеется в виду способ Габера и Боша), она проиграла бы войну в первые же месяцы. Форсированное развитие германской аммиачной промышленности в огромной мере было вызвано тем, что эта страна, развязавшая мировую войну, лишилась традиционного рынка получения привозной чилийской селитры. Накануне первой мировой войны Германия ввозила не менее 800 тыс. т селитры в год. К. Бош в этой связи говорил: «Азотная промышленность благодаря войне была направлена по особому пути, и ее развитие

значительно ускорилось. Она играет сейчас исключительно огромную роль не только внутри страны, но и вне ее — в международной политике» [47].

В рассматриваемый период производство синтетического аммиака было создано также во Франции. При давлении в 1000 атм выход аммиака на французских заводах достигал 25% от исходной смеси [39, с. 188].

Академик В. Н. Ипатьев, анализируя причины столь стремительного прогресса аммиачной промышленности на основе каталитического синтеза аммиака, отмечал, что важное преимущество этого метода — сравнительно незначительные затраты энергии, необходимой для осуществления процесса. По его данным, «для синтеза аммиака из элементов требуется около 7 тонн топлива, кокса или угля, для образования необходимого водорода и того тепла, которое будет необходимо для связывания одной тонны азота в виде аммиака, включая сюда и процессы добывания из воздуха этого азота. Переводя затраченное топливо в единицы силы, мы получим, что 1 киловатт-час свяжет 830 кг азота, между тем как при диахимидном способе мы получим 380 кг, а при дуговом — 130 кг связанного азота» [48, с. 3].

Передовые русские ученые придавали большое значение каталитическому синтезу аммиака. В Артиллерийской академии была разработана лабораторная установка, на которой исследовали влияние различных катализаторов на смесь азота и водорода с целью выявления наиболее выгодных условий синтеза аммиака [48, с. 9].

Получение азотной кислоты каталитическим окислением аммиака

Изобретение метода получения азотной кислоты каталитическим окислением аммиака является одним из крупнейших достижений химии начала XX в.

Разработанный в 1913 г. Ф. Габером и К. Бошем промышленный способ получения аммиака из азота и водорода создал, по существу, неограниченные возможности производства азотной кислоты.

Сущность каталитического окисления аммиака кислородом воздуха состоит в пропускании смеси аммиака с воздухом над нагретым до 750° С катализатором. При определенном составе смеси аммиак почти полностью окисляется до окиси азота. Образовавшаяся окись азота легко переходит в двуокись азота, которая с водой в присутствии кислорода воздуха образует азотную кислоту.

Формирование исследований в области синтеза азотной кислоты из аммиака имело место в годы первой мировой войны. Большинство промышленно развитых стран мира, втянутых в войну, лишились импорта чилийской селитры, служащей основным сырьем для производства азотной кислоты, и вынуждены были искать ее заменителей.

Таким заменителем стал аммиак. Ни один из известных способов получения азотной кислоты, в том числе и традиционный, основанный на реакции обменного разложения нитрата натрия (чилиийская селитра) серной кислотой, и описанный выше новый метод фиксации азота в вольтовом дуге, по эффективности и экономичности не могли конкурировать со способом каталитического окисления аммиака кислородом воздуха.

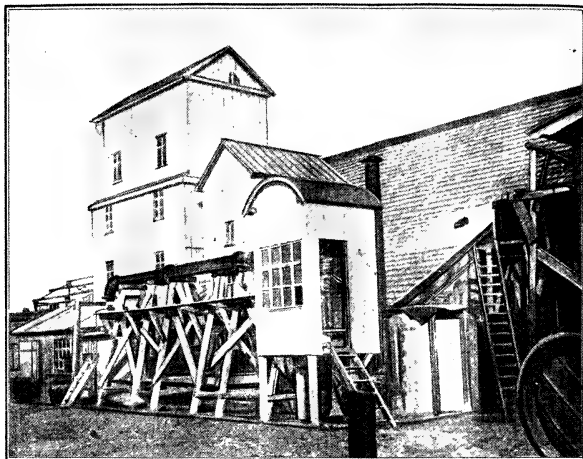
Еще в начале XIX в. было установлено, что аммиак можно окислять до окиси азота с последующим превращением ее в азотную кислоту. Получению азотной кислоты этим методом предшествовали исследования французского ученого Ф. Кюльмана, начатые в 1838 г. Ученый пропускал ток газообразного смешанного с воздухом аммиака при 300° С через стеклянную трубку, содержащую платину. При этом выделялись пары азотной кислоты. Кюльман писал: «Хотя при современных условиях превращение аммиака в азотную кислоту при помощи Pt-губки и воздуха не представляет достаточных выгод, но могут наступить времена, когда это превращение сделается возможным и с экономической точки зрения» [49, с. 290]. Во второй половине XIX в. опыты по каталитическому окислению аммиака проводили Х. Ф. Шенбейн, Д. Эмби, Д. Тэттл, Э. Пелиго, Т. Пелуэ, Л. Жиле и некоторые другие. Появляются также и первые патенты. Так, был изведен патент Т. дю-Мотэ 1871 г.: аммиак пропускали с двойным количеством воздуха при 300 и 500° С в присутствии манганата натрия. Однако азотная кислота, изготовленная таким способом, была не дешевле получаемой из импортируемой селитры. Немецкий ученый А. Митташ писал: «На той ступени развития, которой достигло окисление аммиака в середине 70-х годов XIX в., оно осталось без изменения в течение многих десятилетий» [50, с. 141; 51].

Промышленное осуществление каталитического окисления аммиака для получения азотной кислоты связано с именем В. Оствальда. Начиная с 1900 г. В. Оствальд и его сотрудник Э. Брауер исследовали каталитическое окисление аммиака. Они считали этот процесс состоящим из двух реакций. В 1902 г. Оствальд взял несколько патентов на получение азотной кислоты каталитическим окислением аммиака [52]. Катализаторами служили платина, оксиды свинца, марганца, серебра, меди, железа, хрома, никеля и кобальта. Была также разработана установка для каталитического окисления аммиака, в которой поступающий газ предварительно подогревался теплом отходящих газов. При пуске установки катализатор доводили до температуры, необходимой для начала реакции (чуть выше 300°), затем температуру поддерживали высокой (из-за теплоты самой реакции), затем температуру поддерживали высокой (из-за теплоты самой реакции), затем температуру поддерживали высокой (из-за теплоты самой реакции). Первая промышленная установка была пущена в Лотрингене в 1908 г. Катализатором была платиновая сетка. Уже в 1908 г. новым методом было произведено 695 т нитрата аммония, в 1909 г. — 1081 т, в 1910 г. — 1237 т, в 1911 г. — 1495 т. В 1913 г. способ Оствальда—Брауера шагнул за пределы Германии.

В России технология получения азотной кислоты контактным окислением аммиака была разработана самостоятельно русскими специалистами. Созданный в начале первой мировой войны в Юзовке (Донбасс) крупный завод азотной кислоты из аммиака по технике оборудования был в то время лучшим в мире [40, с. 18].

Исследования методов каталитического окисления аммиака начались в Петроградском технологическом институте в первые месяцы войны при непосредственном участии талантливого инженера Н. И. Андреева. Работы поддерживались Военным ведомством. После завершения опытных работ по инициативе Н. И. Андреева было выдвинуто предложение, поддержанное председателем Комиссии по заготовке взрывчатых веществ академиком В. Н. Ипатьевым, о постройке опытного завода азотной кислоты.

Такой завод решил построить в Макеевке, используя аммиак коксо-



Общий вид опытного завода в Макеевке (Россия, 1917 г.)

вого производства. В качестве побочных продуктов здесь в больших количествах получали аммиачную воду, в которой аммиак находился преимущественно в связанном состоянии, т. е. в виде солей аммония, и в небольших количествах в свободном виде.

Сооружением опытного завода занимались инженеры А. К. Колосов и П. В. Кочуков, которым было поручено реализовать разработанный в Центральной научно-технической лаборатории Военного ведомства под руководством И. И. Андреева проект производства азотной кислоты из аммиака. Строительство завода велось быстрыми темпами, и в 1915 г. предприятие вступило в строй [53, с. 16].

Была выполнена обширная программа исследований, включающая разработку оригинальной системы контактных аппаратов, подбор наиболее эффективных катализаторов, очистку аммиака от примесей, изучение методов разложения нелетучих аммониевых солей с целью выделения из них газообразного аммиака, и т. п. Опытно-промышленная установка позволяла вести процесс окисления аммиака непрерывно с выходом до 95% азотной кислоты.

Технико-экономические показатели опытного завода оказались настолько высокими, что было принято решение о строительстве уже

упоминавшегося крупного завода в Юзовке производительностью до 600 тыс. пудов 50%-ной азотной кислоты в год [36, с. 230; 45, с. 143].

В районе Юзовки располагались крупные коксовые заводы, которые могли дать достаточно много аммиака для нового предприятия.

Завод проектировал инженер Н. М. Кулепетов при консультативном участии И. И. Андреева. Предприятие было заложено в начале 1916 г. и через 11 месяцев пущено в ход, правда пока лишь на $\frac{1}{3}$ установленной мощности [36, с. 230; 45, с. 144].

Сырьем для производства азотной кислоты служил нашатырный спирт, получаемый с коксохимических производств. Практические испытания подтвердили справедливость блестящего технологического решения — использовать в качестве сырья нашатырный спирт. Впервые катализатором для окисления аммиака здесь служили платиновые сетки, изготовленные на Тентелевском химическом заводе в Петрограде [39, с. 189]. Выход азотной кислоты колебался от 93 до 94%, в то время как на зарубежных заводах он не превышал 92%. Контактные аппараты с платиновыми сетками работали в течение 6 мес. без «затуханий». Один контактный аппарат давал в час 16 кг 33%-ной азотной кислоты [36, с. 230].

В общих чертах устройство и работа Юзовского завода сводится к следующему. Нашатырный спирт, содержащий в среднем 22% аммиака, нагревали в колонных аппаратах для выделения газообразного аммиака, который после просушивания собирали в газгольдере над слоем масла. Из газгольдера аммиак перекачивали в аппараты для смешения с подогретым до 150 °С воздухом. После этого смесь поступала в контактные аппараты (числом 42), оснащенные платиновыми сетками. Образующиеся в контактных аппаратах окислы азота в смеси с водяными парами избытком воздуха охлаждали в алюминиевых змеевиках. Затем смесь направляли в окислительные и поглотительные башни, изготовленные из местного гранита. Для конденсации азотной кислоты служили большие ящики из базальтовых плит, доставленных с Кавказа [39, с. 189].

После пуска завода, давшего прекрасные результаты, строительная комиссия по просьбе английского правительства безвозмездно передала, в порядке союзнических взаимоотношений, все чертежи и описание предприятия Британской комиссии азотных продуктов [45, с. 144].

Насколько удачно были решены технические и технологические вопросы, положенные в основу производства Юзовского завода, указывает следующий любопытный факт, описанный академиком В. Н. Ипатьевым. Когда проект завода был закончен, три иностранных инженера, имевших концессию во Франции и Италии, предложили свой проект. По договоренности они имели возможность познакомиться с проектом русских специалистов, так же как и наши инженеры могли познакомиться с проектом своих зарубежных коллег. «Наско же было удивление иностранных инженеров, когда они увидели наш проект вполне удовлетворяющим их высоким требованиям и даже нашли для себя некоторые интересные детали; само собой разумеется, что все переговоры после этого были закончены» [36, с. 230—234; 54, с. 35].

На базе Юзовского завода синтетической азотной кислоты были построены крупные по тому времени цехи: аммиачной селитры, натриевой селитры и других продуктов, сыгравших немаловажную роль в обеспечении отечественной военной и химической промышленности сырьем [55, с. 38—44].

Б. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ХЛОРА И ЕДКОГО НАТРА. СИНТЕЗ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ

Состояние химических способов производства хлора

С развитием промышленности непрерывно повышался спрос на хлор, используемый для получения различных хлорсодержащих соединений. Основной способ получения хлора многие годы был основан на взаимодействии соляной кислоты с двуокисью марганца (пиролюзитом). Таким путем хлор был впервые получен в 1774 г. шведским химиком К. В. Шееле. Однако этот способ был весьма дорогим из-за дефицита соляной кислоты и пиролюзита. Положение резко изменилось в 60-х годах XIX в. в результате технологических решений утилизации в лебланковском содовом процессе хлористого водорода и эффективной переработки его на хлор. В условиях огромных масштабов лебланковского содового производства большие количества хлористого водорода, выбрасываемые в атмосферу, стали отравлять окружающую среду и вызывать протесты населения. Некоторые заводы даже приходилось закрывать и переносить в районы, отдаленные от населенных мест. Особенно остро эта проблема стояла в Англии. Не случайно, что именно в этой стране в 1863 г. был издан специальный закон («Alkali Act»), запрещающий выброс в атмосферу газов, содержащих свыше 5% хлористого водорода. Это правительственное постановление поставило в весьма трудное положение фабрикантов, но в то же время подтолкнуло их к изысканию эффективных технических способов улавливания и использования хлористого водорода.

Уже в 1866 г. английский химик В. Вельдон взял патент на способ переработки хлористого водорода на хлор с целью использования его для производства белильной извести [56, с. 36; 57, с. 32].

В. Вельдон предложил изготовлять хлор, используя уже известную ранее химическую реакцию взаимодействия соляной кислоты и двуокиси марганца. Однако в схему было введено новшество, позволявшее осуществлять регенерацию двуокиси марганца из хлористого марганца, образующегося в процессе взаимодействия с соляной кислотой. По имеющимся данным, расходы на регенерацию двуокиси марганца не превышали в 1871 г. 25% стоимости равного количества природного пиролюзита [25, с. 65].

Второй способ был предложен Г. Диконам, запатентовавшим его в Англии в 1868 г. Способ состоял в получении хлора контактным окислением хлористого водорода кислородом воздуха. Катализатором служила серно-кислая медь, нанесенная на битый кирпич. Способ Г. Дикона обеспечивал несколько больший выход хлора по сравнению со способом В. Вельдона, но, несмотря на это, не мог его вытеснить. Это объясняется более простой конструкцией аппаратуры в процессе Вельдона и более высокой концентрацией получаемого хлора. Так, по способу Вельдона получали хлор концентрации до 95%, в то время как по способу Дикона концентрация хлора не превышала 14% [56, 57, с. 33].

Оба способа положили начало крупнейшей отрасли химической промышленности — производству хлора и хлорных продуктов. Неразрывно свя-

занные с лебланковским содовым процессом, они «продлили век» лебланковского производства и способствовали развитию содовой промышленности. Монопольное положение способа Вельдона и Дикона в хлорном производстве продолжалось до появления в 90-х годах XIX в. нового электрохимического способа получения хлора из хлористых соединений щелочных металлов (калия и натрия). Эти способы применяли в ряде стран и в первые годы текущего столетия. Так, по способу Вельдона работало 7 заводов в Англии, Германии, Франции, Бельгии и России. Способ Дикона использовали в это время на 6 заводах, в том числе: в Германии — на двух, во Франции — на двух, в Бельгии — на одном заводе [58, с. 84].

Небезынтересно отметить, что в 1903 г. на большом химическом заводе в Ауссиге (Австрия), где существовало производство электролитического хлора, одновременно применяли и процесс Вельдона [58, с. 83].

В России хлор получали по способу Вельдона. Первым заводом, введенным в 1888 г. этот процесс, был химический завод Ушкова, построенный в 1868 г. Кроме того, по способу Вельдона работал также Константиновский завод (с 1910 г.), но в 1917 г. производство было приостановлено [57, с. 34].

В конце XIX в. на смену химическим способам получения хлора пришел новый электрохимический процесс, завоевавший в начале XX в. господствующее положение в мировой хлорной промышленности.

Развитие электрохимического процесса получения хлора

Появление электрохимического процесса получения хлора неразрывно связано с общим прогрессом науки и техники второй половины XIX в.: достижениями химии и физики, разработкой теории электролитической диссоциации, успехами электротехники.

Первое известное предложение вырабатывать электролитический едкий натр и хлор принадлежит русским ученым Н. Г. Глухову и Ф. Вавуку, запатентовавшим 2 декабря 1879 г. в Германии «способ для получения каустической щелочи электрохимическим путем». Предложенный ими аппарат представлял электролизер, «разделенный перегородкой». Анод изготовлялся из платины или из графита, катод — из железа. Изобретатели отмечали, что их способ мог применяться не только для разложения поваренной соли, но также и сульфата натрия.

В 1884 г. немецкий инженер К. Хейфнер взял патент на «усовершенствование в электролизе галогенных солей легких и тяжелых металлов», обративший на себя внимание химиков-технологов.

К 80-м годам XIX в. относятся первые заводские опыты электрохимического получения хлора на заводе «Griesheim—Elektrolon» (Германия). При разложении водных растворов хлорных солей щелочных металлов (калия или натрия) постоянным током при соблюдении определенных условий были получены одновременно три продукта: хлор, водород и едкий натр (или едкое кали). В процессе электролиза на аноде выделяется газообразный хлор, а на катоде металлический натр, который, реагируя с водой, выделяет водород и образует гидрат окиси щелочного металла. Из трех названных продуктов особый (коммерческий) интерес представлял в то время едкий натр. Таким образом, получение хлора ока-

залось связанным с производством важнейших щелочей. С этого времени ученые, инженеры и предприниматели начали проявлять повышенный интерес к хлорному электрохимическому процессу [59, с. 514].

В короткий срок было создано несколько технологических схем, которые в зависимости от применяемых электролизеров можно подразделить на три основные группы: 1) с твердым катодом и пористой диафрагмой, 2) с ртутным катодом и 3) с колоколом.

Первая, наиболее ранняя технологическая схема была основана на использовании электролизеров с твердым катодом и пористой диафрагмой. Назначение диафрагмы — разделить анодное и катодное пространство с целью предохранения от химического взаимодействия выделяющихся из электролита хлора и едкого натра. Образующийся в результате электролиза раствор едкого натра затем выпаривают и обезвоживают. Получается технический продукт — каустическая сода с содержанием около 90—95% едкого натра.

Успешно начатые в 80-х годах на заводе в Грисгейме опытные работы по практическому внедрению процесса электрохимического получения хлора на установке с твердым катодом и диафрагмой завершили пуском в 1890 г. в том же городе первого небольшого электролитического завода. Завод был оснащен электролитической установкой мощностью 200 л.с. и производил едкий натр и хлор. В 1892 г. мощность завода удвоилась. Предприятие работало успешно, поэтому электрохимический способ получения хлора и едкого натра продолжал быстро распространяться. В 1894 г. был пущен крупный завод в Биттерфельде (Германия). В 1895 г. производство этого предприятия выросло в два раза.

Одновременно началось расширение завода в Грисгейме, которое было завершено в 1896 г. Кроме того, в Биттерфельде был пущен второй завод мощностью 2000 л.с., принадлежащий обществу «Elektrochemische Werke Bitterfeld», оснащенный глиняными ваннами с асбестовыми диафрагмами [58, с. 121, 122].

Способ получения хлора и едкого натра в электролизерах с твердым катодом и диафрагмой получил широкое распространение на заводах общества «Griesheim—Elektro». В 1903 г. 14 заводов этого общества производили большую часть всех щелочей и белильной извести, выпускавшихся всеми электролитическими заводами Германии. Обществу принадлежали два завода в Грисгейме, два крупных завода в Биттерфельде и один в Рейнфельдене.

Способ с твердым катодом и диафрагмой применяли также на германских заводах общества «Consolidierte Alkaliwerke» в Вестергелле и на Баденской ангидридной и содовой фабрике («Badische Anilin u. Sodafabrik») в Людвигсхафене.

Кроме того, этот способ был принят во Франции на заводе «Comptage industrielle de produits chimiques», вырабатывавшем 2000 т едкого натра и примерно такое же количество белильной извести, а также в Испании на заводе во Флиске близ Барселоны [58, с. 122, 123].

В России электрохимический способ с твердым катодом и диафрагмой (система «Грисгейм—Электрон») начали применять на заводе акционерного общества «Электричество» в 1895—1896 гг. и на заводе Южнорусского общества для выделки и продажи соды в г. Славянске. На Славянском заводе для изготовления электролитического хлора и едкого натра применяли

120 электролизеров, позволивших производить 3280 т каустической соды и около 2730 т хлора (или 8200 т хлорной извести) в год. Во время первой мировой войны Славянский завод был расширен: число электролизеров было увеличено со 120 до 210.

Во время первой мировой войны в Донбассе на станции Рубежная был построен (1916 г.) химический завод «Русско-краска» с электролитическим цехом, оборудованным 200 электролизерами системы «Грисгейм—Электрон». Завод производил 5300 т едкого натра и 12 тыс. т хлорной извести [36, с. 236, 237].

Принцип второго электрохимического способа получения хлора и едкого натра в электролизерах с ртутным катодом сводится к следующему. При работе электролизера на ртутном катоде выделяется металлический натрий, образующий амальгаму натрия. На аноде, обычно изготовлявшемся из графита, выделяется хлор. В отдельном аппарате амальгама разлагается водой, в результате чего образуются раствор едкого натра и водород, а выделяющуюся чистую ртуть вновь используют в производственном процессе.

Идею способа с ртутным катодом выдвинули в самом начале 80-х годов XIX в. русские ученые А. П. Лидов и В. А. Тихомиров. Суть своего изобретения с чертежом электролизера они описали в статье «Некоторые применения динамо-электрических машин», опубликованной в 27 номере журнала «Техника» за 1883 г. Однако они не взяли привилегии на предложенный ими способ, которому, как оказалось впоследствии, суждено было сыграть важную практическую роль в промышленности электролитического хлора.

Поэтому начало ртутного способа ведут с патентов американца Г. Кастнера и доктора К. Кельнера, относящихся к началу 90-х годов XIX в. Оба изобретателя взяли ряд патентов. По данным П. П. Федотьева, наиболее важным было изобретение Кастнера, запатентованное в 1892 г. в Англии и в других странах. Три патента, два из которых относятся к 1892 г. и один к 1895 г., принадлежат Кельнеру. К 1895 г. относятся первые крупные опыты Кастнера по реализации процесса на заводе в Олбуро (Англия).

Описанный способ с ртутным катодом, внедренный в конце XIX — начале XX в. на ряде заводов, получил название способа Кастнера—Кельнера. Первый изобретатель внес решающий вклад в разработку конструкции электролизерной установки, второй разрешил задачу разложения щелочной амальгамы.

Известны также предложения и других изобретателей процессов получения хлора и едкого натра электролизом хлоридов натрия и калия. Однако все они в какой-то степени дублировали изобретения Кастнера и Кельнера или оказывались менее эффективными.

На европейском континенте привилегиями Кастнера и Кельнера владело общество «Solvay а. С», которому принадлежит ряд важных усовершенствований процесса. Несмотря на то что в основе способа лежат изобретения Кастнера и Кельнера, в него были внесены оригинальные изменения, способствовавшие его широкому распространению. Принцип действия установки, запатентованной обществом «Solvay а. С» (русская привилегия), состоит в следующем. Электролизер выполнен в виде прямоугольной ванны. Дно ванны может быть горизонтальным или наклонным, но под таким углом, чтобы оно всегда оставалось покрытым ртутью.

Ртуть заливают в ванну через трубку с воронкой. Щелочную амальгаму выпускают через нижнюю трубку с противоположной стороны и регулируют таким образом, чтобы амальгама удалялась с поверхностного слоя. Раствор хлорида натрия, находящийся над ртутью, подается в ванну из трубки справа, а через трубку с противоположной стороны ванны он выводится из нее. В результате достигается постоянное движение раствора, интенсивно омывающего всю поверхность ртути и аноды. Примечательная особенность описанной установки — применение двух слоев электролита с разной концентрацией. Со ртутью непосредственно соприкасается наиболее концентрированный слой, имеющий наибольшую плотность. Над этим слоем находится слой, более бедный солью, в котором находятся аноды. В процессе работы оба слоя не смешиваются, так как газы из ртути не выделяются. Нижний плотный слой раствора соли является своего рода диафрагмой. Этот раствор постоянно соприкасается со ртутью и не смешивается с насыщенной хлором «анодной жидкостью». Благодаря этому более плотный слой не насыщается хлором. Концентрацию обоих слоев раствора соли в процессе электролиза поддерживают постоянной. Образующийся хлор выводится по трубе в приемник, а амальгама поступает в аппарат, в котором она перерабатывается на едкий натр, водород и ртуть [58, с. 140].

Первые электролизеры с ртутным катодом были установлены на заводе общества «Deutsche Solvay Werke» в Остернненбурге (электрическая мощность 1000 л.с.), основанном в 1896—1897 гг. К 1897 г. относится ввод в эксплуатацию завода в Бельгии (1 тыс. л.с.). По данным на 1903 г., крупнейшее производство электролитического хлора существовало в Англии на заводе «Castner — Kellner Alkali Co» (4 тыс. л.с.) и в Америке на предприятии «Electrolytic Co» (6 тыс. л.с.) на Ниагарском водопаде. По способу Кельнера работал завод в Австро-Венгрии (1 тыс. л.с.), изготовлявший едкий натр и белильную известь. В Рейнфельде существовало в это время производство едкого натра ртутным способом для переработки его в металлический натрий по способу Кастнера (1800 кВт). Ртутный способ получения хлора и едкого натра применяли в начале XX в. и в Италии.

В России электролиз поваренной соли на установках с ртутным катодом был осуществлен в 1900 г. на Лисичанском заводе. На заводе Любимова, Сольве и К⁰ (ст. Переездная) применяли ванны с ртутным катодом (система Кельнера—Сольве). Завод имел мощность 3 тыс. кВт энергии и выпускал в год около 5 тыс. т едкого натра и 3,7 тыс. т хлора, что соответствовало 11 тыс. т хлорной извести [36, с. 236; 58, с. 123, 124].

Способ с колоколом ведет свое начало от идеи В. Веина, высказанной им в 1896 г., о возможности осуществления процесса получения хлора и едкой щелочи без разделения специальной диафрагмой анодного и катодного продуктов электролиза. Изобретатель положил в основу своего предложения принцип электролиза в U-образной трубке, в одно из колен которого опущен анод, а в другое — катод. Образующиеся в анодном и катодном коленах трубки продукты электролиза не смешиваются. При пропускании тока в катодном колене образуется едкая щелочь и водород, который, не взмучивая никележащего электролита, поднимается вверх. В другом колене выделяется хлор. Щелочной раствор катодного колена ввиду большей плотности по сравнению с раствором электролита опускается и заполняет постепенно все колено. В результате граница, разделяющая катодный и анодный слои, будет приближаться к аноду. Если, однако, уста-

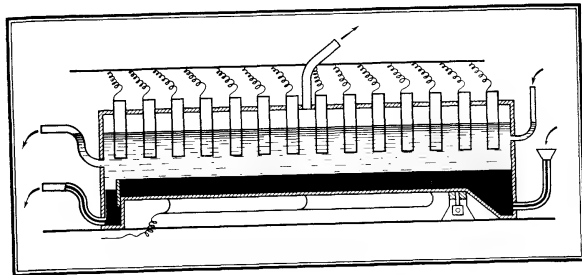
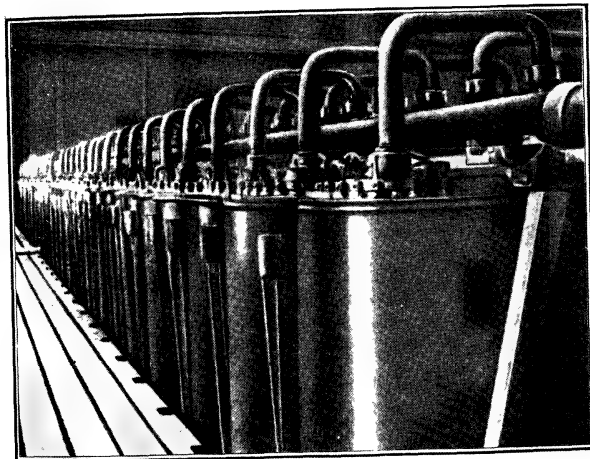


Схема установки с ртутным катодом для получения хлора общества «Сольве и К⁰» (конец XIX в.)



Общий вид хлорного цеха, оборудованного цилиндрическими электролизерами на Самарском заводе в годы первой мировой войны

новить принудительный приток к аноду свежего электролита и обеспечить отвод щелочного раствора у катода со скоростью, обеспечивающей удержание «нейтрального слоя» в прежнем положении, то процесс можно вести непрерывно.

В 1898 г. фирма «Oesterreichischer Verein für chemische und metallurgische Produktion» в Ауссиге запатентовала способ электролиза с колоколом. Установка состояла из ванны с опущенным в электролит колоколом, изготовленным из непроводящего электрический ток материала. В верхней части колокола располагали анод, а вне его, немного выше, — катод. К аноду в процессе работы непрерывно подавали свежий электролит. Одновременно из-под колокола отводился получаемый хлор, а из катодного пространства извлекался щелочной раствор. Способ электролиза с колоколом применялся в рассматриваемый период в весьма ограниченных масштабах и в последствии был оставлен как недостаточно экономичный [58, с. 124, 146].

Каждый из описанных способов имеет свои преимущества и недостатки. Так, электролиз с диафрагмой требует меньших капиталовложений при организации производства и поэтому позволяет получать более дешевый хлор и едкий натр. Метод с ртутным катодом обеспечивает получение каустической соды очень высокой чистоты, но потери ртути загрязняют окружающую среду. В обоих методах на 1 т хлора приходится 1,12 т едкого натра.

Описанные электрохимические способы возникли под влиянием большого спроса на каустическую соду бурно развивающейся химической промышленности. Хлор в первое время считали побочным продуктом.

На рост производства хлора оказала огромное влияние разработка в начале XX в. способов сжижения хлора и его хранения. Именно это обстоятельство создало технические предпосылки для использования Германией больших запасов жидкого хлора в первой мировой войне в качестве удушливого вещества. Германия, развернувшая газовую войну, обладала мощной хлорной промышленностью, ее заводы были оснащены множеством крупных электролитических хлорных установок.

В 1917 г. русская химическая промышленность располагала двенадцатью хлорными цехами, из которых семь вырабатывали хлор новым электролитическим методом и пять — химическим (из соляной кислоты).

К концу 20-х годов производство хлора в мире достигло огромной цифры — 370 тыс. т [60, с. 33].

Синтез соляной кислоты

Электролиз хлоридов щелочных металлов в рассматриваемый период превратился в крупную отрасль химической промышленности. Потребность в едких щелочах была большой и постоянно возрастала под влиянием развития традиционных и новых отраслей химической индустрии.

В отличие от едких щелочей хлор не находил столь обширного применения, несмотря на его возросшее значение в производстве ряда важных хлорсодержащих продуктов.

В процессе электролиза образуется эквивалентное количество едкого щелочи и хлора. Поэтому по мере роста производства едких щелочей соответственно возрастало и количество получаемого хлора. Его произ-

водство достигло масштабов, не только полностью удовлетворявших потребности химической промышленности, но и создававших его избытки. Возник своего рода кризис сбыта хлора, его перепроизводство.

Именно это и послужило одной из причин, заставивших искать пути использования электролитического хлора для синтеза соляной кислоты. Сама специфика электролиза хлоридов щелочных металлов, в процессе которого, кроме едких щелочей и хлора, получается и водород, говорила о целесообразности использования этих газов для синтеза на их основе соляной кислоты.

Сущность синтеза соляной кислоты из хлора и водорода состоит в свойстве этих газов энергично соединяться между собой. На свету реакция происходит со взрывом.

Свойство хлора и водорода соединяться на свету было открыто еще в 1809 г. французскими учеными Ж. Л. Гей-Люссаком и Л. Ж. Тенаром. Несколько позже это свойство хлора и водорода было использовано для создания актинометра, прибора для измерения интенсивности светового потока [61, 62, с. 74].

К первым двум десятилетиям текущего столетия относится ряд работ, связанных с теоретическим обоснованием инициирующего воздействия света на реакцию взаимодействия хлора с водородом (М. Боденштейн и В. Дукс, 1913 г.; В. Нернст, 1918 г.) [63, с. 249, 250].

Для синтеза соляной кислоты из элементарных хлора и водорода было предложено немало технологических способов. Так, в 1905 г. Робертс запатентовал способ получения соляной кислоты из хлора и водорода в особой камере. Газы подводились в нее в специальных трубах и при встрече сжигались в хлористый водород [64, с. 310].

Повышенный интерес к практической реализации синтеза соляной кислоты из хлора и водорода был проявлен в период первой мировой войны. Производство ее химическим путем из поваренной соли и серной кислоты резко сократилось. Серная кислота в больших количествах стала идти на изготовление взрывчатых веществ.

Впервые производство синтетической соляной кислоты из электролитического хлора и водорода было создано в период войны на заводе в Гристейме. Установка для получения хлористого водорода представляла кварцевую горелку в форме капли диаметром 2 см и высотой 4 см, к которой газ подводился по двум трубкам. Горелка находилась в кварцевой трубке диаметром 50 см и высотой 2 м. Пламя в виде зеленоватой струи длиной от 20 до 30 см направлялось от горелки вверх. Поступление газов регулировалось дифференциальными манометрами с таким расчетом, чтобы смесь содержала от 10 до 20% избыточного водорода. Образующийся хлористый водород поступал из кварцевой трубы через систему газопроводов в ряд поглотительных аппаратов типа Целляриуса, питаемых дистиллированной водой. Установка позволяла получать в сутки до 350 кг хлористого водорода, т. е. около 1 т соляной кислоты [65, с. 226, 227].

Вслед за организацией производства синтетической соляной кислоты в Гристейме были построены аналогичные предприятия и в других странах. Принципы технологического процесса были тем же. Однако созданные установки имели некоторые конструктивные отличия в соответствии с патентами, приобретаемыми отдельными фирмами. Такие установки были созданы в Германии на Баденской аммиачной и содовой фабрике в Люд-

вингафене и на одном из заводов в Берлине, в США фирмой «Hoechst & Co» на Ниагарском водопаде, в Канаде на заводе в Виндзоре (штат Онтарио) [62, с. 75—78; 66, с. 297—299].

Одно из важных преимуществ синтетической соляной кислоты, полученной из электролитического хлора и водорода, по сравнению с тем же продуктом, изготовленным химическими способами, — ее высокая чистота.

Кроме описанного процесса, к рассматриваемому периоду относится появление (1895 г.) так называемого «угольного способа» получения соляной кислоты. Этот способ состоит в пропускании через раскаленный уголь или кокс хлора и водяного пара. В результате реакции образуются соляная кислота и углекислый газ. Реакция наиболее интенсивно протекает в присутствии катализаторов. Кислота получается достаточно чистой и содержит 32—35% хлористого водорода [65, с. 227—229].

Из описанных выше процессов получения синтетической соляной кислоты наибольшее распространение получил процесс непосредственного соединения хлора с водородом.

Однако удельный вес синтетической соляной кислоты в общем производстве соляной кислоты был весьма незначительным. Процессы производства синтетической соляной кислоты находились еще в стадии своего начального промышленного развития. Вместе с тем рассматриваемый период — важная веха в истории технологии соляной кислоты, так как именно в это время были заложены основные принципы и начато заводское производство синтетической соляной кислоты, ставшей в последующие годы доминирующим продуктом в мировой химической промышленности.

6. ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ И КАМЕННОГО УГЛЯ

В конце XIX в. под влиянием прогресса в области теплоэнергетики, транспорта, машиностроительной, военной и ряда других отраслей промышленности неизмеримо возрос спрос и возникла острая необходимость в новых видах топлива и химических продуктах.

В это время зародилась и быстро прогрессировала нефтеперерабатывающая промышленность. Огромный толчок развитию нефтеперерабатывающей промышленности дало изобретение и быстрое распространение двигателя внутреннего сгорания, работающего на нефтепродуктах. Интенсивно развивалась также техника переработки каменного угля, служащего не только одним из основных видов топлива, но, что особенно примечательно, ставшего в рассматриваемый период необходимым сырьем для химической промышленности. Большая роль в этом деле принадлежала коксохимии. Коксовые заводы, ранее поставлявшие черной металлургии кокс, превратились в коксохимические предприятия, вырабатывавшие, кроме того, ряд ценных химических продуктов: коксовый газ, сырой бензол, камешноугольную смолу и аммиак.

На основе продуктов переработки нефти и каменного угля начало развиваться производство синтетических органических веществ и материалов. Они получали широкое распространение в качестве сырья и полуфабрикатов в различных отраслях химической промышленности.

Развитие промышленной технологии переработки нефти

По мере расширения добычи и потребления нефти совершенствовались способы ее переработки. До середины XIX в. нефть использовали обычно без какой-либо предварительной обработки, переработки или разделения на соответствующие продукты.

Интересно отметить, что перегонка нефти была известна еще в начале нашей эры. Тогда нефть, применявшуюся в медицине, перегоняли с целью уменьшения ее неприятного запаха. Кроме того, было найдено, что после перегонки нефть приобретает новые ценные свойства, в том числе способность более легко воспламеняться. В небольших количествах нефть перегоняли в стеклянных колбах. Но известны случаи использования для этой цели специальных кубов, позволяющих перегонять значительные количества нефти. О перегонке бакинской нефти имеются сведения, датированные 1735 г. [67, с. 316; 68, с. 73].

Впервые перегонку нефти на заводской установке периодического действия удалось осуществить в России крепостным крестьянам братьям Дубининым в 1823 г. Построенный ими вблизи г. Можога первый нефтеперегонный завод являлся родоначальником нефтеперегонных предприятий, возникших 40 годами позже в России и США.

Нефтеперегонная заводская установка Дубининых состояла из помещенного в печь железного куба для нефти емкостью 40 ведер. В медную крышку куба была вмонтирована медная труба, проходящая через деревянный резурвуар с водой, играющий роль холодильника. Продукты перегонки через трубу попадали в деревянное ведро, служащее приемником. В процессе перегонки использовалось свойство нефти разделяться на оставшиеся ее вещества по их температурам кипения. На заводе Дубининых при перегонке нефти получали около 40% керосина, называвшегося осветительным маслом, и около 50% мазута. В то время легкие бензиновые фракции нефти не использовали, и поэтому 10% их безвозвратно терялось [68, с. 75].

В 1837 г. на заводе В. Шевцова начали переработку грозненской нефти. Затем Н. И. Воскобойников в Балаханах построил завод для перегонки бакинской нефти. В 1859 г. промышленники В. А. Кокорев, Н. Е. Торнау и П. И. Губонин соорудили большой завод в Сураханах (близ Баку) для производства керосина из нефти и кира². С 1860 г. на этом предприятии начали переработку нефти и для очистки керосина применяли кислоту-щелочной метод. Число нефтеперерабатывающих заводов быстро росло. К концу 60-х годов в Бакинской губернии существовало 23 нефтеперегонных завода, в 1873 г. их число возросло до 80 предприятий 16,5 тыс. т керосина в год.

В 40-х годах XIX в. нефтеперерабатывающие заводы появлялись и в других странах: Англии (1848 г.), США (1849 г.), Франции (1854 г.) и др.

До 70-х годов XIX в. нефтеперегонные заводы изготовляли преимущественно керосин, широко применявшийся в технике освещения. Не случайно этот период нередко называют керосиновым или осветительным. От-

² В то время керосин называли фотогеном и соответственно нефтеперерабатывающие заводы именовались фотогеновыми. Кир — горная порода, смесь загустевшей нефти или асфальта с песчанистым или глинистым материалом, встречающаяся в виде натеков в местах выхода нефтеносных пластов на поверхность.

существование спроса на другие продукты нефтепереработки приводило к тому, что, выделяя керосин для осветительных целей (фракция с температурой кипения 180—300° С), не утилизировали нижнекипящую (бензиновую) фракцию и, кроме того, сжигали в топках ценный материал — остаточный мазут (до 60—70% от перерабатываемой нефти).

Вполне понятно, что преимущественный спрос на керосин без утилизации других компонентов нефти не стимулировал технического развития нефтеперерабатывающих предприятий. Технологии в основе своей многие годы топтались на месте и в качественном отношении изменялись очень незначительно. Правда, в процессе работы предприятий и по мере строительства новых нефтеперерабатывающих заводов вводились некоторые усовершенствования в систему перегонки нефти, коснувшиеся загрузки сырья и выгрузки остатков, обогрета кубов, устройства конденсационных аппаратов. Увеличивали емкости перегонных кубов, росло их число на отдельных предприятиях. Но в принципе производство базировалось на старой системе использования куба периодического действия с весьма низкой производительностью и очень неблагоприятным тепловым балансом.

Качественные сдвиги в технике нефтепереработки наступили в 70—80-х годах XIX в., чему во многом способствовало бурное техническое развитие традиционных и становление ряда новых отраслей промышленности, соответствующих периоду монополистического капитализма. В результате стал быстро возрастать спрос на нефтепродукты, в том числе на такие, которые ранее не представляли интереса и даже считались вредными.

В последней четверти XIX в. в технологии нефтепереработки произошли серьезные изменения. Были реализованы важные научно-технические решения, направленные на более полное извлечение из нефти ценных продуктов, в том числе смазочных минеральных масел, что вызывалось бурным развитием крупнозаводской промышленности и железнодорожного транспорта.

В 70-х годах XIX в. развитие нефтеперерабатывающих заводов состояло в увеличении числа кубов и их размеров без существенных конструктивных изменений.

Большое внимание проблеме переработки нефти уделял Д. И. Менделеев. Он неоднократно отмечал, что необходимо изменить отношение к нефти — топливу и ценному химическому сырью. Наиболее правильным и перспективным путем в области нефтепереработки, по словам Д. И. Менделеева, было более глубокое разделение нефти. В частности, он обратил внимание на мазут, сжигаемый в больших количествах в топках печей, как на сырье, из которого можно было получать смазочные масла.

Для решения поставленных задач требовалось коренным образом перестроить существующую технологию переработки на основе внедрения способа непрерывной перегонки нефти. Идею непрерывной перегонки высказал Д. И. Менделеев в 1863 г. во время своего посещения завода А. В. Кокорева в Сураханах [69, с. 69].

К 1873 г. относится разработка конструкции аппарата непрерывного действия, созданного нефтепромышленником А. А. Тавризовым на заводе в Кутиса недалеко от Баку. Изобретение было запатентовано в 1874 г. Нефтеперегонное устройство состоит из 3—4 соединенных между собой перегонных аппаратов, установленных один над другим. В вертикальной трубе высотой около 6 м смонтированы один над другим 3—4 полых кия-

тыльники, обогретаемых перегретым водяным паром. Пар проходит через все киятыльники в последовательном порядке от нижнего к верхнему. Постепенно охлаждаясь, пар попадает в верхний киятыльник с более низкой температурой. Нефть подается из специального бачка, расположенного над установкой. Вначале она поступает на тарелку самого верхнего киятыльника. Так как нефть, находящаяся на верхней тарелке, обогревается самым холодным паром, из нее выделяется наиболее летучая фракция. По мере накопления нефти на тарелке она стекает на следующую нижнюю тарелку, обогретаемую более горячим паром. Здесь также от основной массы отделяется следующая легкая фракция. В такой последовательности продолжается процесс перегонки до тех пор, пока нефтяные остатки с последней тарелки не будут удалены в особый сборник. Каждый киятыльник герметически отгорожен от другого горизонтальными перегородками, и пары нефтеперегонки с каждой тарелки отводятся по собственному трубопроводу к соединенным с ними змеевикам, где они, конденсируясь, поступают в сборники. Как видим, описываемая перегонная установка А. А. Тавризова позволяет получать из нефти столько фракций, сколько предусмотрено в ней киятыльниками или тарелок.

В этой установке использован принцип противотока: нефть поступает сверху вниз, а перегретый пар — снизу вверх. В результате этого пар в процессе перехода из одного киятыльника в другой постепенно охлаждается, в то время как нефть, перекачанная с верхних тарелок на нижние, постоянно подогревается. Благодаря подогреву поступающей на перегонку нефти достигалась достаточно высокая экономичность процесса. Однако в установке не была предусмотрена утилизация тепла дистиллатов и нефтяных остатков.

Перегонное устройство А. А. Тавризова, использованное им в производстве, было первым аппаратом для непрерывной перегонки нефти и прототипом современных тарельчатых ректификационных колонн [68, с. 86].

В 1881 г. Д. И. Менделеев строил первый в нефтеперерабатывающей промышленности нефтеперегонный куб непрерывного действия емкостью 100 пуд., испытанный им на Константиновском заводе В. И. Рагозина (близ Ярославля). Аппарат был установлен на Кусковском нефтеперегонном заводе Губонина (под Москвой). Он отличался достаточно простой конструкцией и поэтому получил применение в промышленности. Нефтеперегонный куб обеспечивал непрерывную подачу нефти и отвод нефтяных остатков [69, с. 70].

Большой вклад в развитие технологии переработки нефти внес выдающийся русский инженер и ученый В. Г. Шухов, который в 80-х годах XIX в. вместе с инженером И. И. Елиным строил кубовую батарею для непрерывного процесса перегонки нефти. В 1883 г. кубовая батарея была установлена на заводе Нобеля в Баку. Фирма тогда писала, что ей удалось установить на своем заводе «неизвестную дотле ни Америке, ни Европе систему непрерывной перегонки нефти в последовательно сообщаемых кубах» [70, с. 95]. Аппарат Шухова—Елина, получивший широкую известность в России и за ее пределами под названием «нобелевская батарея», играл важную роль в нефтеперерабатывающей промышленности до 30-х годов текущего столетия [69, с. 159].

Описанные выше кубы непрерывного действия сыграли в нефтеперерабатывающем производстве огромную роль. Однако они имели недостатки:

изводства красителей, в которых в то время ощущалась острая потребность [69, с. 115]. Пирололизом нефти занимались в России также химики Ю. В. Лермонтова, В. В. Марковников, Г. В. Алексеев, Н. Д. Зелинский и ряд других [68, с. 113—118].

Огромное значение в развитии крекинга нефти сыграли работы выдающегося русского инженера В. Г. Шухова. В период с 1886 по 1891 г. он запатентовал три изобретения, в которых описал технологию и основные аппараты крекинг-процесса [68, с. 123—124].

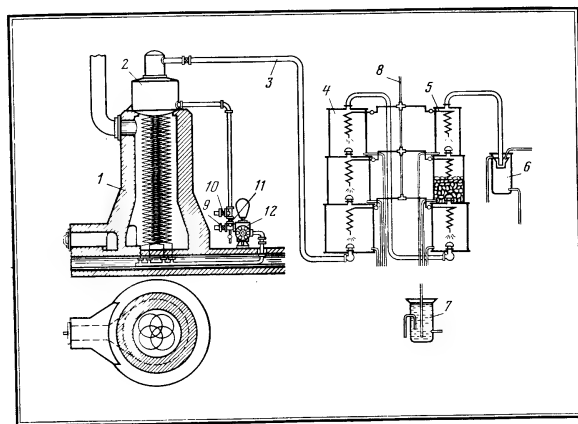
В 1890 г. В. Г. Шухов совместно с инженером С. Гавриловым разработал аппаратуру для крекинг-процесса. В 1891 г. им был выдан на изобретение патент. Изобретатели впервые предложили для осуществления крекинг-процесса применять вместо куба систему труб, подвергаемых действию горячих газов. Для улучшения теплопередачи Шухов и Гаврилов предусмотрели в своей установке искусственную циркуляцию.

Изобретение русских инженеров легло в основу современной схемы термического крекинга. В условиях царской России новшество Шухова и Гаврилова не получило промышленного воплощения. Оно было реализовано и развито в нашей стране после Великой Октябрьской социалистической революции и получило название «советский крекинг» [68, с. 124].

Инженерные решения Шухова и Гаврилова по крекингу были повторены американским инженером В. Бартоном (1913 г.) и некоторыми другими специалистами при сооружении в США в 1915—1918 гг. промышленной установки.

В период первой мировой войны под влиянием резко возросшего потребления взрывчатых веществ в ряде стран (особенно участвующих в войне) началось бурное строительство заводов по производству бензола и толуола. В России такими предприятиями были: фирма братьев Нобель, бакинский Военно-промышленный комитет при Главном артиллерийском управлении и ряд других [69, с. 116]. На толуолном заводе братьев Нобель в 1917 г. было установлено 18 печей с семью ретортами каждая, позволявшими перерабатывать в месяц 1600—2460 т нефти или солярового масла. На бакинском артиллерийском заводе, оборудованном 6 блоками с 138 трехколпными ретортами, ежемесячно перерабатывали 1600—2000 т неочищенного керосинового дистиллата, который в процессе пирололиза превращался в бензол, толуол и ксилол. Выход указанных ароматических продуктов составлял около 15% от всего переработанного керосина. В 1915—1918 гг. бензол получали также на казанском газовом заводе, где в 4 шахмотных ретортах системы Пикеринга перерабатывали около 410 т нефти в месяц [36, с. 252].

Крекинг-процесс быстро развивался в период и после первой мировой войны. Особенно интенсивно велись работы по строительству крекинг-заводов в США и некоторых странах Западной Европы. В дореволюционной России, где спрос на моторные топлива был в общем невелик, потребности транспорта и промышленности полностью удовлетворялись отечественной нефтяной промышленностью, занимавшей в начале XX в. ведущее место в мире по добыче нефти (в 1901 г. добыча составила 11,9 млн. т и в 1913 г. — 10,3 млн. т). Основным способом переработки нефти в России была непрерывная перегонка нефти в кубовых батареях. Экономическая политика царского правительства тормозила развитие технического прогресса, сдерживала и гасила всякую инициативу отечественных ученых. Не



Установка для крекинг-процесса, предложенная В. Г. Шуховым и С. Гавриловым (Россия, 1891 г.)

1 — амесиковый реактор; 2 — дефлегматор; 3 — паровая труба; 4, 5 — погоноразделители; 6 — холодильник; 7 — приемник; 8 — труба для подачи охлаждающей жидкости; 9 — подача сырой нефти; 10, 11 — краны для отбора дистиллата и регулирования рециркуляции; 12 — сырьевой насос

случайно новаторские работы русских инженеров и специалистов по глубокой переработке нефти и мазута (крекинг-процесс) не нашли поддержки у правительственных органов. К работам русских технологов-нефтяников было привлечено внимание иностранных ученых и предпринимателей. В результате ценные научно-технические рекомендации и конструктивные разработки отечественных специалистов по крекинг-установкам были реализованы в промышленных масштабах на нефтеперерабатывающих предприятиях США и некоторых европейских стран.

Процесс нефтеперерабатывающей промышленности способствовал развитию химических производств, связанных с выпуском разнообразных синтетических органических соединений и материалов на основе углеводородов нефти. Кроме упомянутых выше моторных топлив (бензина и керосина), а также минеральных смазочных масел (известно было несколько марок — «веретенное», «машинное», «цилиндровое») и ароматических веществ (бензола и толуола), нефтеперерабатывающие заводы стали поставлять на рынок и другие ценные продукты: ксилол и нафталин; парафин, вазелин; смолы и деготь для покрытия дорог и изготовления кровельного и изоляционного материала — толя; электротехнический кокс (материал для электродов электродуговых печей) и т. п.

Коксохимия

В рассматриваемый период неизмеримо возросла роль продукции химической переработки каменного угля. До второй половины XIX в. каменный уголь применяли главным образом как топливо для жилищ, в паровых энергетических промышленных установках и на железнодорожном транспорте. Значительные количества каменного угля потребляли в виде кокса металлургические предприятия и заводы по добыче светильного газа.

Получение кокса и производство каменноугольного светильного газа — два близких по характеру термических процесса. В том и другом случае каменный уголь, подвергаясь нагреванию (при 950—1050° С) без доступа воздуха, претерпевает физико-химические превращения. При этом он разлагается на множество веществ, утилизация которых и является конечной целью технологического процесса переработки. В результате перегонки каменного угля без доступа воздуха образуются три основных продукта разложения: кокс, каменноугольная смола и летучие (газообразные) вещества.

До 70-х годов XIX в., разрабатывая технологию переработки каменного угля перегонкой, рассчитывали на получение двух продуктов: кокса и светильного газа. Все остальные компоненты каменного угля не находили практического применения и не утилизировались. Коксовые заводы, производившие в больших количествах кокс для металлургической промышленности, совершенно не интересовались каменноугольной смолой и газообразными веществами, которые из-за отсутствия на них спроса считались бесполезными. В то же время светильногазовые заводы старались избавиться от образующихся при сухой перегонке каменного угля кокса и каменноугольной смолы, являвшихся для этих предприятий балластом.

Так продолжалось до тех пор, пока не возник большой спрос на углеводороды прогрессировавшей во второй половине прошлого столетия химической промышленности. Химия, сделавшая большой шаг вперед в области синтеза органических соединений и особенно взрывчатых веществ, стала движущим фактором развития технологии комплексной переработки каменного угля, горючих сланцев и некоторых других твердых органических материалов.

Не вдаваясь в подробности ранней истории светильногазового производства, выходящей за рамки рассматриваемого периода, напомним лишь, что производство светильного газа из каменного угля зародилось в начале XIX в. Известно, что в 1802 г. в Англии недалеко от Бирмингама владелец фабрики В. Мурдах ввел на своем предприятии газовое освещение. В 1814 г. в Лондоне стали освещать газом улицы. В 1839 г. газовое освещение появилось в Петербурге, в 1866 г. — в Москве и в 1873 г. — в Киеве. На протяжении всего XIX столетия значение газа в осветительной технике непрерывно возрастало, чему во многом способствовали рост числа светильногазовых заводов, их постоянное совершенствование и рост мощностей. На распространение газокалильного освещения немаловажное влияние оказало изобретение австрийским химиком К. Ауэром фон Вельсбахом в 1884 г. газокалильных пироксеновых колпачков, резко повысивших силу светового излучения при накаливании их в газовом пламени. Не случайно, что даже на рубеже XIX—XX вв. в условиях быстро прогрессирующего электрического освещения газ занимал ведущее положение

ние при освещении улиц в ряде стран Западной Европы. Так, в Париже 57% всего освещения падало в это время на долю газового. В 1906 г. в Париже было произведено 377 млн. куб. м газа, а в 1913 г. его добыча в Париже выросла до 482 млн. куб. м. В Манчестере (Англия) на каждого жителя приходилось в год 250 куб. м, в Лондоне — 180 куб. м, в Париже — 180 куб. м, в Брюсселе — 225 куб. м газа [72, с. 27, 44].

Непрерывно возрастающие масштабы переработки каменного угля на светильногазовых предприятиях и соответственно увеличивающиеся отходы производства в виде каменноугольной смолы привлекли внимание ученых. Исследованиями французского химика Ж. Б. А. Дюма, его соотечественника О. Лорана, немецкого химика А. В. Гофмана и некоторых других был определен сложный состав каменноугольной смолы. После перегонки в ее составе удалось обнаружить карболовую кислоту, нафталин, неизвестный ранее углеводород антрацен и бензол³. В каменноугольной смоле бензол был обнаружен А. В. Гофманом в 1845 г. и особо заинтересовал ученых в связи с осуществленной в 1842 г. русским химиком Н. Н. Зининым реакцией превращения нитробензола в анилин — соединение, заложившее фундамент промышленного синтеза химических красителей, фармацевтических препаратов и взрывчатых веществ. Не случайно много лет спустя А. В. Гофман в некрологе о Н. Н. Зинине писал: «Если бы Зинин не сделал ничего другого, кроме превращения нитробензола в анилин, то и тогда его имя осталось бы записанным в истории химии золотыми буквами» [73, с. 30].

Технический способ получения бензола разработал в 1849 г. ученик Гофмана Мэнсфилд. Фабричным путем этот продукт был изготовлен в 1851 г. из каменноугольной смолы франкфуртского газового завода в Оффенбахе [73, с. 30]. С этих пор спрос на каменноугольную смолу резко возрастает, из отходов производства она превращается в ценнейший химический продукт.

В начале 80-х годов XIX в. в результате технических усовершенствований, введенных на газовых заводах, выход побочных продуктов был снижен из-за увеличения производства светильного газа. В устройстве газовых печей были внесены, казалось бы, незначительные конструктивные изменения. Вместо чугунных реторт стали устанавливать глиняные, позволившие повысить температуру сухой перегонки «до белого каления». В результате увеличилось количество получаемого газа, в котором возросло содержание водорода. Но именно это отрицательно сказалось на химическом составе каменноугольной смолы: она в процессе переработки превращалась в густую массу, обедненную ароматическими углеводородами [43, с. 57].

Газовые заводы уже не могли обеспечить потребность химических предприятий в каменноугольной смоле. Исследователи обратились к коксовым заводам как к возможному источнику получения каменноугольной смолы.

В 1887 г. Брунк впервые утилизировал коксовые газы, после чего утилизация стала распространяться в Европе и США. Коксовые заводы, бывшие ранее придатком металлургических предприятий, превращаются в коксохимические, оснащенные необходимыми рекуперационными уста-

³ М. Фарадей открыл бензол в 1825 г. в светильном газе.

новками. К концу XIX в. возникает самостоятельная отрасль промышленности — коксохимическая.

В промышленности использовали рекуперационные коксовые печи Коппера, Отто, Коппа, Гофмана, Беккера. Наиболее популярными в рассматриваемый период были печи системы Коппера (Германия), которые из общего количества коксовых печей, построенных в разных странах за период 1908—1918 гг., составляли 91%. К 1 августа 1919 г. в США и Канаде насчитывалось свыше 6416 печей Коппера.

Масштабы производства каменноугольной смолы и других химических продуктов на коксовых заводах вскоре превышают их производство на газовых заводах. Так, в 1910 г. в Германии коксовые заводы давали уже 600 тыс. т каменноугольной смолы, в то время как газовые заводы — только 300 тыс. т. В дореволюционной России каменноугольную смолу использовали в небольших количествах. В начале XX в. в Донбассе была построена первая коксовая батарея с улавливанием побочных продуктов. В 1912 г. из 4682 коксовых печей, имевшихся в России, лишь 344 были оборудованы рекуперационными установками. В период первой мировой войны под влиянием резко возросшей потребности на взрывчатые вещества в России возросло число коксохимических заводов, способных утилизировать отходы коксового производства. В 1914 г. из 5457 коксовых печей насчитывалось 1008 печей, снабженных рекуператорами для улавливания побочных продуктов коксования. К концу 1917 г. в России имелось уже 1880 коксовых печей с рекуператорами, в стадии строительства находилось еще 530 печей; 4400 работающих печей были старой конструкции. За 1917 г. на отечественных заводах было подвергнуто коксованию около 6 млн. т каменного угля, из них 3,5 млн. т переработано на коксовых заводах, оборудованных рекуперационными установками. Всего за этот год было получено каменноугольной смолы около 60 тыс. т и сырого бензола — около 17 тыс. т. Многие заводы, оснащенные установками для утилизации побочных продуктов коксования, принадлежали иностранным фирмам (бельгийским, французским и германским).

В период первой мировой войны в нашей стране было организовано русское общество «Коксобензол». В это время началось более интенсивное оснащение заводов, принадлежащих русским акционерным компаниям, рекуперационными установками. Проведенное в годы войны техническое оснащение многих отечественных заводов установками для утилизации побочных продуктов дало возможность уже в начале 1916 г. увеличить на этих предприятиях переработку каменного угля до 442 вместо 180 тыс. т в месяц до войны. Ежемесячное производство в начале 1916 г. утилизованных продуктов характеризуется следующими цифрами, т: каменноугольная смола 8850, сырой бензол 2460, аммиачная вода 4425, антрацен 100, чистый бензол — около 420, чистый толуол 450, сырой фенол — около 200. Выработка указанных ароматических продуктов в 1916 г. превысила их ввоз за последний, предвоенный 1913 г. За 1916 г. было выработано антрацена 1300 т, а ввезено в 1913 г. 606 т, бензола вместе с толуолом — более 50 тыс. т, а импортировано в 1913 г. 3640 т [36, с. 249—250].

Побочные продукты сухой перегонки каменного угля с развитием коксохимии превратились в основные продукты переработки. Утилизация, разделение и очистка этих продуктов потребовали создания весьма сложных технических устройств и аппаратов, разработки соответствующих

технологических схем. Достаточно вспомнить, что основные коксохимические продукты (не считая кокса) — коксовый газ, сырой бензол, каменноугольная смола — заключают в себе в общей сложности около 80 наименований различных веществ, насчитывающих, в свою очередь, не менее 160 сортов.

В первые два десятилетия текущего столетия общая технологическая схема переработки каменного угля и его производных, а также аппаратное оформление производства получили близкий к современному вид. Процесс вели в отапливаемых газом печах при нагревании каменного угля без доступа воздуха, шихту подсушивали, затем началось выделение углекислого газа и сероводорода. При 300—500° С органическое вещество угля интенсивно разлагалось, переходя в пластическое состояние, сопровождающееся выделением первичных газов, первичной смолы и образующимся полукоса. При дальнейшем нагревании (при 500—1100° С) малопрочный полукос теряет большую часть летучих веществ и переходит в твердый кокс, а первичные газы и смола образуют высокотемпературную каменноугольную смолу и коксовальный газ. Выжженный раскаленный кокс тушили водой. Газ и газообразные побочные продукты коксования охлаждали и промывали, при этом выделялись каменноугольный деготь, сырой бензол, содержащий толуол и ксилол и другие гомологи ароматического ряда, а также аммиак, пиянистые соединения и т. д. Затем в специальном цехе, оснащенном перегонными аппаратами (периодического или непрерывного действия), перерабатывали (разгонка) деготь. Сырой бензол очищали в цехе ректификации. После выделения из коксового газа побочных продуктов его применяли либо в качестве светильного газа, либо (в случае более глубокой очистки) как исходный продукт для синтеза аммиака.

Продукты перегонки каменного угля на газовых и коксохимических заводах во всевозрастающих масштабах стали использоваться в виде сырья на предприятиях анилинокрасочной, фармацевтической и в других отраслях промышленности.

7. ВЫСОКОПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ. СИНТЕТИЧЕСКИЕ КРАСИТЕЛИ

От природных материалов к искусственным и синтетическим

Достижения химии и химической технологии создали предпосылки для получения искусственных и синтетических материалов и зарождения их промышленного производства.

Интерес химической науки к искусственным материалам стал отчетливо проявляться со второй половины XIX в.

Появление искусственных материалов — показатель качественно нового и более высокого (по сравнению с предыдущим периодом) уровня развития химии. Интересно отметить одну характерную особенность, связанную с появлением искусственных материалов. Исходным ориентиром при получении искусственных материалов вначале почти всегда служили известные и проверенные на практике природные материалы. Понятно, что первые исследователи, еще недостаточно вооруженные знаниями, не могли

отметить, что Д. И. Менделеев после изобретения способа производства вискозных волокон высоко оценил это новшество и предсказал их большую перспективность.

Промышленный выпуск вискозных волокон был впервые осуществлен в 1905 г. в английском городе Ковентри. В России к производству вискозных волокон было приступлено в 1909 г. на заводе в пос. Мытищи [75, с. 32].

Среди других искусственных материалов необходимо отметить ацетилцеллюлозу, представляющую продукт взаимодействия целлюлозы с уксусным ангидридом. Ацетилцеллюлоза была впервые изготовлена в 1869 г. П. Шютценбергером. В 1894 г. Ч. Кросс и Э. Бивен показали, что ацетилированные целлюлозы интенсифицируются в присутствии катализаторов — серной кислоты или хлористого цинка. Эти же исследователи разработали технический способ получения ацетилцеллюлозы. Первоначально ацетилцеллюлозу широко применяли в военной промышленности. После первой мировой войны возникла проблема использования мощностей заводов, изготовлявших ацетилцеллюлозу. В результате работ Дрейфуса в 1921 г. было организовано промышленное производство ацетатных волокон, получивших впоследствии широкое распространение [75, с. 39, 40].

К рассматриваемому периоду относятся также попытки некоторых исследователей найти заменитель шерсти, в состав которой, как известно, входят белковые вещества. Поэтому изобретательская мысль пошла по пути создания белкового волокна, которое по своему составу и свойствам не отличалось бы от натуральной шерсти. Способ изготовления такого волокна был предложен в 1904 г. немецким исследователем Тодтенхауптом. В качестве исходного материала использовали казеин — белок молока. Однако развитие промышленного производства искусственной шерсти из казеина было начато лишь в 30-х годах [75, с. 44].

Пластические массы и каучуки

История пластических масс и каучуков неразрывно связана с развитием общих представлений о природе высокомолекулярных соединений. В течение второй половины XIX в. в результате достижений органической и аналитической химии был расшифрован состав природных высокомолекулярных веществ — каучука и целлюлозы, даны первые определения процесса полимеризации, положенного в основу синтеза высокомолекулярных веществ из низкомолекулярных соединений (мономеров). Огромное значение в области полимеризации имели работы А. М. Бутлерова, впервые подошедшего к рассматриваемой проблеме с позиций теории химического строения. Это и некоторые другие выдающиеся достижения в области химии способствовали получению ряда искусственных и синтетических полимерных материалов.

К концу XIX в. в наиболее развитых в техническом отношении капиталистических странах уже были созданы производства пластических масс на основе натурального каучука, целлюлозы и белка.

В конце 30-х — начале 40-х годов XIX в. появился абонит — твердый упругий материал, продукт вулканизации каучука с большим количеством серы (работы Ч. Гудлира и Т. Генкока) [72, с. 151; 77, с. 172].

В 1869 г. Д. Хайатт (США) получил целлулоид пластификацией нитроцеллюлозы камфарой в смеси со спиртом и растительным маслом. Первое

заводское производство целлулоида было создано в 1872 г. в США и затем в 1878 г. в Европе. Целлулоид был первым пластиком, полученным на основе производных нитроцеллюлозы. Недостаток целлулоида — его легкая воспламеняемость — был устранен в 1907 г. заменой нитроцеллюлозы ацетилцеллюлозой [76, с. 282].

К 1885 г. относится создание пластика «галалита», изготовленного на основе казеина при действии формальдегида. Полученный продукт представлял белый роговидный материал. Его промышленное производство началось в 1890 г. [63, с. 282].

Важной вехой в развитии химии полимеров стало появление и промышленное производство синтетических феноло-формальдегидных смол. Их история ведет свое начало от работ А. Байера, получившего (1872 г.) при нагревании смеси бензойного альдегида с фенолом в спиртовом растворе смолообразный продукт. Ученый показал, что и другие альдегиды с фенолами дают схожие материалы. К концу XIX в. появляются предложения на изготовление феноло-формальдегидных пластмасс.

В результате глубоких исследований бельгийского химика Л. Г. Бакеанда, работавшего в США, в 1907 г. было создано промышленное производство феноло-формальдегидных смол и на их основе пластмассы под названием «бакелит». В России проблема получения фенопластов была решена Г. С. Петровым. В результате его работ в нашей стране в 1914 г. началось производство фенопласта — «карболита», полученного поликонденсацией фенола с формальдегидом в присутствии нефтяных сульфокислот. Производство было организовано в д. Дубровке близ Орехово-Зуева на заводе синтетических смол, выпускавшем 50 кг карболита в сутки.

Значительное промышленное применение в рассматриваемый период получил натуральный каучук. Несмотря на то что в Европе каучук был известен со времен открытия Америки в XV в., практическое его использование началось лишь в первой половине XIX в. В 1823 г. английский предприниматель Ч. Макинтош изобрел непромокаемые ткани, пропитанные раствором каучука в каменноугольном дегте. С тех пор память об изобретателе сохранилась в названии непромокаемых плащей — «макинтошей». Однако первые непромокаемые ткани имели серьезные недостатки ввиду того, что каучук отслаивался от матерчатой основы.

Широкое промышленное производство каучуковых изделий началось после открытия процесса вулканизации, состоящего в нагревании сырого каучука в смеси с серой при температуре 140—160° С. Процесс вулканизации был разработан в 1839 г. Ч. Гудбиром (США) и независимо от него в 1843 г. Т. Генкоком (Англия). Вулканизированный каучук резко отличался от сырого каучука более высокими прочностными характеристиками: эластичностью, тепло- и морозостойкостью, снижением степени набухания и растворимости в органических растворителях. С появлением процесса вулканизации каучука были заложены основы производства резины. Наряду с серой в каучук стали вводить наполнители для придания необходимых эксплуатационных свойств резине (тонкодисперсные продукты — сажа, мел и др.) [77].

Возросший спрос на каучук и его высокая стоимость стимулировали исследования способов получения синтетического каучука. Препятствием к разрешению проблемы синтеза было отсутствие данных о природе каучука, строении его молекулы.

К 20-м годам XIX в. относятся первые работы, связанные с изучением химического состава природного каучука. В 1822 г. английский ученый А. Юр показал, что в состав каучука входят два элемента: углерод и водород. Однако количественные измерения Юра оказались недостаточно точными. Этим вопросом занимался также М. Фарадей, подтвердивший (1826 г.) выводы Юра об углеводородном составе каучука. По их данным, соотношение углерода и водорода в каучуке составляло 8:7 (вместо действительного 10:8). М. Фарадей, кроме того, обратил внимание на продукты пирогенетического разложения каучука, состоящие из двух различающихся по температурам кипения и удельным плотностям жидких фракций. В 1834 г. Ж. Б. Дюма и в 1835 г. Ф. К. Химли впервые установили правильный углеводородный состав каучука и продуктов его разложения. Один из продуктов разложения (обладающий более низкой температурой кипения), как считают, был изопрен, сыгравший весьма важную роль в истории химии синтетического каучука. Еще М. Фарадей своими исследованиями показал, что при обработке наиболее легко кипящей фракции концентрированной серной кислотой и последующем разбавлении смеси водой происходит выпадение темного клейкого вещества. Таким образом, он впервые наблюдает осмоление изопрена и других продуктов разложения каучука [78].

В 30-х годах XIX в. исследованиями продуктов разложения каучука занимались также Ю. Либих, В. Грегори, Д. Дальтон и некоторые другие химики [79].

Итоги первых исследований природного каучука подвел английский ученый Ч. Г. Вильямс, приступивший к систематическому изучению химических свойств изопрена. В 1860 г. путем сухой перегонки каучука он также получил изопрен и впервые ввел это название в химическую литературу. Его исследования, в отличие от указанных выше ранних работ, носили систематический, углубленный характер. Ученый обнаружил, что на воздухе изопрен постепенно густеет и превращается в белую губчатую массу, которая при сжигании давала запах горелого каучука. Работы Вильямса подготовили открытие полимеризации изопрена [78, с. 30—32; 79].

Аналогичный результат получил в 1879 г. француз Г. Бушар, обрабатывая изопрен соляной кислотой. В 1889 г. английский химик В. А. Тильден синтезировал изопрен из скипидара, пропуская его пары через накалившую докрасна трубку. Действием соляной кислоты и хлористого нитрозила он превратил полученный продукт в каучукоподобную массу. В. А. Тильден описал свойства синтетического каучука и отметил его способность при нагревании с серой, подобно натуральному каучуку, давать плотное, эластичное вещество. Было также установлено, что изопрен при длительном хранении (несколько лет) превращается в каучук [63, с. 278].

Рядом исследований была также установлена возможность получения каучукоподобных продуктов из других простейших соединений, в том числе из бутадиена. В 1885 г. профессор И. Л. Кондаков получил каучукоподобное вещество из диметилбутадиена (раньше назывался диизопреном) полимеризацией его в присутствии спиртового раствора щелочи или под воздействием света. На основе работ И. Л. Кондакова в Германии в 1918 г. была выпущена небольшая партия синтетического каучука, названного метилкаучуком.

В начале текущего столетия состав каучука изучал К. Гарриес, показавший, что каучук представляет собой полиизопрен. В 1911 г. ученый вместе со своими сотрудниками разработал метод полимеризации диолефинов, применив в качестве катализатора металлический натрий. Ему же принадлежит осуществление метода эмульсионной полимеризации олефинов.

В России над проблемой получения синтетического каучука работал ряд ученых. Так, ученик А. М. Бутлерова А. Е. Фаворский опубликовал в 1885 г. работу о способности кротилина полимеризоваться. Он также пишет, что ацетиленовые углеводороды могут взаимно превращаться в дуетиленовые. Исследования А. Е. Фаворского и его учеников в области неопределенных соединений стали теоретической основой производства синтетического каучука. Решение этой проблемы принадлежит ученику А. Е. Фаворского известному русскому ученому С. В. Лебедеву. В 1908—1913 гг. он исследовал полимеризацию углеводородов ряда бутадиена (дивинила) и простейшего углеводорода аллена и опубликовал работы по полимеризации изопрена и диизопренила. В 1910 г. С. В. Лебедев впервые получил образец синтетического бутадиенового каучука. На основе этих и последующих работ ученого в нашей стране впервые в мире была создана промышленность синтетического каучука (1932 г.).

Кроме С. В. Лебедева и его сотрудников, исследованиями в области синтетического каучука в России с 1911 г. занимался И. И. Островский, с 1913 г. Б. В. Бызов и ряд других химиков [63, с. 279, 280].

К числу материалов, появившихся в рассматриваемый период и нашедших весьма большое практическое распространение, относятся гуттаперча, получаемая из смолы гуттаперечных растений. По своему составу и свойствам гуттаперча близка к натуральному каучуку. Основной ее компонент — высокомолекулярный транс-полиизопрен-гutta, представляющий изомер цис-полиизопрена, углеводорода натурального каучука. Кроме гутты, гуттаперча содержит смолы, белковые вещества, влагу и т. д. Сок гуттаперчи затвердевает скорее, чем сок каучука. Сырая гуттаперча тверже сырого каучука и менее эластична. В основу технологии переработки сырой гуттаперчи положена вулканизация. Гуттаперчу, используемую в технических целях, снабжали различными наполнителями. Ее стали широко применять в качестве изоляционного материала в производстве подводных кабелей, для выделки хирургических инструментов, пломбирования зубов, при изготовлении предметов домашнего обихода и в других областях [72, с. 151, 152].

Красители

До середины XIX в. для окраски текстильных материалов, кожи, мехов, бумаги, древесины и других продуктов использовали преимущественно органические красители, получаемые обычно из красильных растений, в небольших количествах из животных организмов, а также минеральные краски. Стоимость красителей, особенно органических, была весьма высокой.

Под влиянием всевозрастающего спроса на красители назрела необходимость разработки способов их получения синтетическим путем. К рассматриваемому периоду появились необходимые научные и технические пред-

посылки для развития синтеза красителей и организации их промышленного производства. Среди факторов, стимулировавших работы в области синтеза красителей, необходимо отметить следующие: обеспеченность химических предприятий вспомогательными неорганическими материалами — серной кислотой, хлором, содой, едким натром и некоторыми другими продуктами основной химической промышленности; широкое распространение промышленных способов переработки каменного угля, ставшей крупной сырьевой базой ароматических соединений — бензола, нафталина, толуола, кислоты, антрацена; успехи органической химии, в результате которых получил развитие тонкий химический синтез.

Важнейшей вехой в истории синтетических красителей является открытие в 1842 г. русским химиком Н. Н. Зининым реакции восстановления нитробензола до анилина. Принципы этой реакции лежат в основе синтеза разнообразных ароматических аминов (класс азотсодержащих органических соединений), широко используемых для производства синтетических красителей, фармацевтических препаратов и других веществ тонкого химического синтеза.

Первые синтетические красители на основе анилина были получены в 1856 г. английским химиком В. Перкином и независимо от него польским химиком Я. Натансоном.

Результатом исследований В. Перкина было получение фиолетового красителя — мовеина. Исходными веществами служили сернокислая соль анилина и бихромат калия, которые в результате реакции дали совершенно черный осадок. После его очистки и растворения в винном спирте В. Перкин неожиданно для себя получил фиолетовый раствор с замечательными окрашивающими свойствами. В том же году он запатентовал свое открытие, а в 1857 г. было создано фабричное производство мовеина на заводе недалеко от Гринфорд Грин [80, с. 9, 10].

Я. Натансон, нагревая анилин (содержащий примеси орто- и паратолуидинов) с безводным хлоридом олова синтезировал ярко-красный краситель фуксин. В 1858 г. этот краситель синтезировал и А. Гофман (Германия). Фабричное производство фуксина организовал в 1859 г. французский химик Э. Верген [80, с. 10].

Яркость и сочность цветов, окрашенных синтетическими красителями материалов, привлекли к ним внимание химиков. В 1861 г. А. Гофман установил состав фуксина и наметил пути изготовления синтетических красителей с различными цветовыми оттенками. К 1878 г. относятся работы немецких химиков братьев Э. и О. Фишер, установивших строение некоторых других анилиновых красителей.

В истории синтетических красителей большое место заняли ароматические диазосоединения, позволившие изготавливать разнообразные по цвету красители. Открытие диазосоединений принадлежит И. П. Гриссу, получившему их в результате обработки анилина и других первичных ароматических аминов азотистой кислотой. В 1875 г. немецкий химик В. Мейер предложил использовать для этих целей не азотистую кислоту, а ее соли в присутствии серной или соляной кислот [72, с. 77]. В 1876 г. А. Гофман и его соотечественник О. Витт установили строение диазосоединений. К числу простейших диазосоединений относится диазобензол, легко вступающий в реакцию с фенолами и ароматическими основаниями. В результате образуются устойчивые основания, которые с кислотами дают разнообраз-

разные красители. Большую гамму красителей удалось получить в результате взаимодействия диазосоединений с производными нафталина (нафтины, нафтиламины) [63, с. 179].

В 1868 г. немецкие химики К. Гребе и К. Т. Либерман расшифровали строение ализарина, издавна производившегося из корнев марены. Они установили, что ализарин является производным антрахинона — широко доступного продукта, получаемого окислением антрацена, входящего в состав каменноугольной смолы. К. Гребе и К. Т. Либерман первые синтезировали ализарин, и в 1869 г. началось его промышленное производство. В связи с широким распространением синтетического ализарина и его низкой стоимостью разведение марены было полностью прекращено. Наряду с ализарином на основе производных антрахинона было получено много других красителей.

Большое научное и практическое значение имел синтез индиго — ценного естественного красителя темно-синего цвета. Индиго — известный с глубокой древности краситель, добывавшийся из растений. Его получение из растений сопряжено со значительными трудностями. Индиго применяли при крашении не в том виде, в котором он содержится в растениях. В результате исследований в конце XIX в. было установлено, что индигоносные растения содержат гликозид индикан, который при ферментации превращается в глюкозу и белое индиго или лейкоиндиго. Окислением лейкоиндиго получают синее индиго, или индиготин. Структура индиго была установлена А. Байером. Синтез индиго осуществлен им же в 1880 г. Однако лишь через 17 лет — в 1897 г. производство этого красителя было поставлено на промышленную основу [80, с. 13]. Выпуск индиго быстро возрастал. За период с 1900 по 1913 г. производство индиго в Германии увеличилось с 1873 до 37 350 т.

До 60—70-х годов XIX в. химия красителей развивалась преимущественно в Англии и Франции. На состоявшейся в 1862 г. в Лондоне Всемирной промышленной выставке все 13 паглад, присужденных за производство «смоляных красок», получили исключительно французы и англичане. Последняя четверть века характеризовалась быстрым развитием промышленности синтетических красителей Германии. К концу XIX в. германская промышленность синтетических красителей вышла на первое место в мире по уровню научных и технологических разработок и масштабам производства [80, с. 10].

Среди предприятий анилиноокрасочной промышленности Германии особое значение приобрела Баденская анилиновая и содовая фабрика, основанная в 1863 г. в Мангейме и затем переведенная в Людвигсгафен. Производство этой фабрики быстро расширялось, о чем свидетельствует рост числа работающих. За период с 1866 по 1909 г. число работающих на этой фабрике возросло с 30 до 7527 чел. Кроме того, производство красителей в Германии было создано в Эльберфельде (1860 г.), возле Франкфурта-на-Майне (1870 г.), в окрестностях Берлина (1873 г.).

Германия превратилась из страны, возящей красители, в страну, которая стала экспортировать их во многие страны мира. Так, вывоз из Германии анилина и других органических красителей за период с 1880 по 1913 г. увеличился с 2140 до 64 288 т, ализарина и ализариновых красителей — с 5888 до 11 040 т. Экспорт индиго в 1913 г. по сравнению с 1900 г. возрос с 1873 до 33 353 т [80, с. 14].

Примечательно, что синтетические красители ввозили из Германии Англия и Франция, известные в недалеком прошлом как основные поставщики этой продукции на мировом рынке.

Производство синтетических красителей в России занимало небольшой удельный вес в продукции химической промышленности. До первой мировой войны красители ввозили в значительных количествах из-за границы, в основном из Германии. Так, в 1909 г. импорт красителей в Россию превысил сумму 12 млн. руб., в 1911 г. — 13,2 млн. руб.

До первой мировой войны в нашей стране в небольших количествах вырабатывали ализарин, некоторые ализариновые краски. На трех заводах выпускали анилины в количестве около 2450 т в год. В результате его ввоз снизился с 442 т в 1908 г. до 262 т в 1913 г. Однако потребность в красителях была намного большей, чем производственные мощности русских фабрик. По имеющимся данным, в 1913 г. в Россию ввозили красителей и промежуточных продуктов (включая и те, которые требовались для изготовления фармацевтических препаратов) 11 270 т, индиги 655 т и готовых красителей 1476 т.

Значительное оживление в развитии русской анилиноокрасочной промышленности наступило в годы первой мировой войны. К учрежденному Российскому акционерному обществу химической промышленности («Русско-краска») перешел Кинешемский завод, выпускавший некоторые красители и продукты. С 1916 г. на Рубежанском заводе приступили к производству фенола. В 1916 г. заводы «Русско-краски» изготовили в общей сложности 234 т красителей, в том числе 82 т азокрасителей для хлопка и шерсти.

Во время войны в России значительно возросло производство анилина. Его выпуск был организован на Тейтлевском химическом заводе (Петроград), на заводе П. К. Ушкова и К^о, «Русско-краска» (1000 т в год), «Тригора», на Русско-Балтийском химическом заводе и некоторых других [36, с. 254, 255].

Прогресс в области синтеза красителей и интенсивное развитие анилиноокрасочной промышленности оказали большое влияние на другие области химической промышленности, особенно связанные с производством лекарственных препаратов, взрывчатых веществ, фотографических реактивов и т. д.

Глава VII СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОГРЕССА СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Развитие капиталистического машинно-фабричного производства превратило строительную индустрию последней трети XIX в. в одну из крупнейших отраслей хозяйства. Расширилась ее материальная база, особенно под влиянием притока новых строительных материалов. Среди них большой удельный вес заняли металлы и сплавы, позволившие создавать разнообразные строительные конструкции и сооружения, конструировать для производства строительных работ механизмы и машины, о которых раньше инженеры и конструкторы могли только мечтать. Успехам строительной техники способствовал также общий подъем научных исследований, прямо или косвенно связанных с запросами строительства. Большую роль играли строительная механика, ставшая действенным фактором научно-технического прогресса в строительном деле.

В этот период среди важнейших строительных материалов широкое распространение получили литая сталь, быстротвердеющие цементы и железобетон.

Появление в 50—60-х годах XIX в. новых массовых способов получения литой стали (бессемеровский и мартеновский) и ее быстрое внедрение в различных областях техники привели к ее использованию и в строительстве.

Литыми сталями не замедлили воспользоваться мостостроители, здания усилившимися в это время сооружением железных дорог в большинстве капиталистических стран и в их колониальных владениях.

Пионером применения в мостостроении нового материала выступил будущий строитель знаменитой 300-метровой парижской башни А. Г. Эйфель, создавший из литой стали 5 мостов в Португалии и 3 моста во Франции. В России мостостроением занимался Н. А. Бетелевский, автор Сызранского моста через Волгу.

Строительство портовых сооружений из цементного бетона, стимулировавшееся развитием морской торговли многих капиталистических держав с их заморскими колониями, быстро обнаружило существенный недостаток этого материала — медленное возрастание его эксплуатационной прочности. Этот недостаток особенно сильно сказался в военном деле при строительстве мощных укреплений. Необходимость быстрого восстановления разрушенных бомбардировкой стен дала толчок поискам замены с максимально короткими сроками твердения. В результате было обнаружено, что увеличение содержания в них кремнезема сверх обычных для портландцемента 7% сокращает процесс твердения с 30 сут до 24 ч. В 1908 г. американец Г. С. Шнекман и француз М. Бид, доведя независимо друг от друга этот компонент до 35%, создали новый цемент, получив-

ший название глиноземистого [1, с. 241]. С большим эффектом он был использован французами в 1914 г. при восстановлении в течение одних суток поврежденных немецкой артиллерией укреплений Вердена. В других европейских странах производство глиноземистого цемента началось только после окончания первой мировой войны.

В нашей стране глиноземистый цемент вошел в употребление только после Великой Октябрьской социалистической революции благодаря трудам А. А. Байкова и П. П. Будникова. Но знаменательно, что еще Д. И. Менделеев [2, с. 514] указывал на сходство глинозема и кремнезема, образующих соединения с кальцием, которое и послужило изобретателям глиноземистого цемента основанием для того, чтобы поменять местами содержание этих двух окислов в цементной шихте.

В 60—70-х годах XIX в. развитие строительной техники ознаменовалось распространением замечательного нового материала — железобетона [3, с. 67—119; 4, с. 34—41, 51—60].

В 1873 г. один из изобретателей железобетона, француз Ж. Монье получил патент на мосты из этого материала. В мостостроении открывались большие перспективы, появилась возможность устранить многие затруднения [3, с. 90]. Проблема строительства мостов особо остро стояла в колониальных владениях капиталистических стран, эксплуатировавших их природные богатства. Для сооружения мостов обычно применяли тяжелые камни точных размеров и железю специальных марок. Для укладки на место тяжелых камней и элементов металлических конструкций требовались мощные подъемные механизмы и особые транспортные приспособления. Частые перебои в доставке этих материалов нередко вызывали приостановку работ. Между тем применение железобетонных конструкций не требовало для транспортировки крупных средств, так как большую часть их компонентов составляют широко распространенные в природе песок и гравий, которые можно было добывать на месте строительства.

В 1875 г. Ж. Монье представил экспертной комиссии модель железобетонного моста, которая выдержала испытание нагрузкой. В том же году изобретатель построил по этой модели пешеходный мостик пролетом 16 м и шириной 4 м. Первые промышленные мосты появились в 1887 г. Большая часть из них была сооружена в Германии и Австро-Венгрии [5, с. 254].

В течение 12 лет после осуществления первого железобетонного моста Берлинское акционерное общество железобетонного строительства, купившее патент Монье, возводило 320 таких сооружений. Наиболее характерными были два моста военного назначения в Пуэрто-Рико, построенные американцем Тахером.

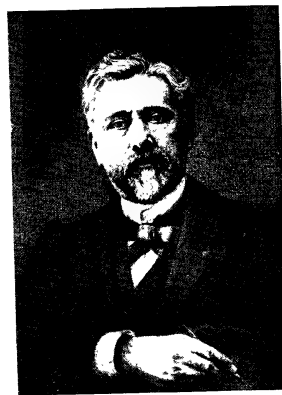
Немалую роль в развитии железобетонного строительства сыграла фортификация. Недостаточная стойкость бетонной стены против британского действия динамита побудила бельгийскую фирму «Общество известей и цемента» в 1897 г. провести сравнительные испытания армированного и неармированного бетона, показавшие вчетверо большую стойкость первого. Это обусловило широкое использование железобетона в фортификационной технике [6].

Большой интерес к железобетону вызвала его достаточно высокая огнестойкость [7, с. 36—37]. В отличие от него металлические кон-

струкции (например, железные балки перекрытий) во время пожаров быстро разрушались. Железобетонные же сооружения выдерживали действие огня в течение 4—5 ч. Сравнительное испытание перекрытий из железобетона и волнистого железа в 1886 г. в Кельне доказало преимущество первого, а на конкурсе, проведенном в 1893 г. Берлинским страховым обществом, железобетон системы Монье получил высшую награду. В 1904 г. после большого пожара в Балтиморе (США) из 300 зданий с металлическим каркасом уцелело только 16. Было установлено, что нагрев до 500° С снижает сопротивление железа растяжению на 50%, до 600° С — на 70%, до 700° С — на 75% и до 800° С — на 80%. После балтиморской катастрофы стало ясно, что в сооружениях, где имеются горючие материалы, металлы конструкций нельзя оставлять открытым, а следует обязательно обливывать их. Однако оказалось, что даже такие прочные и стойкие природные материалы, как песчаник и гранит, сильно разрушаются под действием высокой температуры. Это привлекло внимание строителей к железобетону.

Другим большим недостатком железных конструкций оказалась коррозия [7, с. 36]. Так, в результате ее в 1911 г. были вынуждены разобрать знаменитую Галерею машин Всемирной парижской выставки 1889 г., построенную инженером М. Ж. Котансеом в сотрудничестве с архитектором Ф. Ш. Л. Дютером. Она представляла собой стальной остекленный трехшарнирный стрельчатый свод пролетом 115 м, длиной 450 м при стреле подъема 45 м.

Росту эпохи монополистического капитализма земельной ренты в крупных и густонаселенных городах мира вызвал увеличение высотности зданий [8, с. 27]. Давставшаяся строителям в наследство от предыдущей эпохи практика сооружения зданий (до 6-го этажа толщина стен составляла 1/6 их высоты) приводила к «сдаванию» стеной полезного внутреннего объема. Кроме того, рост собственного веса стены требовал уменьшения размеров светопроемов. Это побудило американца М. Варона Джени в 1885 г. разгрузить массу стены при помощи металлических стоек, проходящих внутри простенков через всю высоту здания. Такая конструкция, получившая название скелетной, позволила «дотянуться» до 20-го этажа. Но только в 1890 г. его соотечественник Салливен, разрезав стену на поэтажные пояса и превратив таким образом прежний скелет в каркасную



Александр Гюстав Эйфель
(1832—1923 гг.)

металлическую этажерку, несущую легкое заполнение, смог перешагнуть через двадцатитонный предел, достигнув к моменту первой мировой войны 40 и более этажей. То же каркасное решение повторили в 1903 г. француз О. Перре при строительстве жилого дома в Париже и американец Ф. Л. Райт при сооружении нескольких банков в Нью-Йорке.

Примером наиболее значительного высотного дома с металлическим каркасом у нас в стране может служить построенный в 1908 г. Р. И. Клейнов московский универсальный магазин «Мюр и Мерилиз» (теперь ЦУМ). Железобетонное здание подобного типа было сооружено в 1912—1913 гг. в Москве же И. Кузнецовым для промышленника Н. Второва (Деловой двор).

Начиная с 1900 г. строительство предназначенных для военных целей дирижаблей, достигавших длины 130 м и диаметра 12 м, вызвало нужду в огромных ангарах, без которых эти гиганты в причаленном состоянии становились игрушкой ветра. В 1908 г. германское правительство объявило конкурс на проект такого сооружения. Среди представленных вариантов были конструкции из древесины, металла и из совсем нового тогда — железобетона. Рекордными явились ангары француза Э. Фрейсине (о них будет специально сказано далее) [7, с. 36—45].

Новое в строительстве побудило к развитию и строительную механику. Знания, доставшиеся в наследство от предыдущего периода, оказались недостаточными для расчета сооружений, новых по конструкции и по применяемым материалам. Строители вынуждены были все чаще обращаться к теории упругости, уравнения которой были весьма сложными. Выход из создавшегося положения был найден в использовании метода физических аналогий. В 1887 г. Г. Р. Кирхгоф [9, с. 307] обнаружил, что общие уравнения равновесия упругого стержня тождественны с уравнениями движения твердого тела относительно неподвижной точки. Подобную же аналогию между балкой и плавающим в воде брусом установил в 1898 г. наш соотечественник В. Г. Шухов [10].

Стимулом для поисков новых формул явилось широкое применение бетона в сочетании с железом. В связи с тем что этот материал оказался «не подчиняющимся» закону Гука, потребовались интенсивные экспериментальные исследования и поиски математических уравнений, выражающих связь напряжения с относительными деформациями. Основоположителем этих опытов, проведенных в 1897 г., был немецкий профессор К. Бах. Соотечественник Баха Р. Мехке в том же году сравнил различные формулы зависимости между напряжением и деформацией, предложенные для материалов, «не подчиняющихся закону Гука» [9, с. 425].

2. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА НА СТРОИТЕЛЬНУЮ ТЕХНИКУ

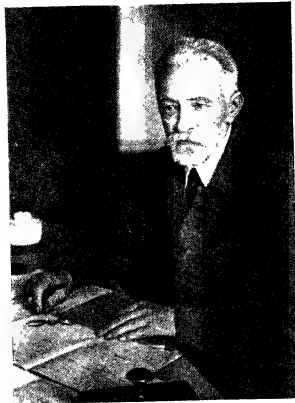
Ряд новых проблем поставило перед строительством широкое применение электроэнергии [11, с. 330, 413: 12]. Осуществление в 1882 г. французом М. Депре передачи постоянного тока по незаизолированным проводам на 57 км поставило задачу сооружения мачт высотой не менее 20 м, достаточно жестких по вертикали и устойчивых в направлении, перпендикулярном расположению проводов.

В 1891 г. русским инженером М. О. Доливо-Добровольским осуществлен переход с постоянного тока на переменный. В результате увеличилось расстояние передачи электрического тока до 170 км и началось строительство гидроэлектростанций на реках шириной более 300 м с напором воды выше 15 м. Чтобы сосредоточить напор в одном месте, потребовались, кроме плотин, еще и сливное устройство в виде открытого канала или тоннеля, а также сооружение водохранилища. Возникла потребность в бетонах прочностью выше 300 кг/см² и цементах со скоростью твердения, измеряемой не неделями, а сутками.

Достижения в области электроэнергетики и электротехники дали возможность шире и эффективнее использовать в строительстве металлические конструкции. Большое значение имело открытие и использование в строительных работах электрической сварки, которая стала быстро вытеснять традиционные способы соединения элементов и узлов конструкций — клепку и кузнечную сварку. Исследования, проведенные в 60-х годах XIX в. в Вулвичском арсенале (Англия), показали, что если прочность шва, выполненного кузнечной сваркой, равна сопротивлению сплошного листа железа, то в кузнечном шве она составляет только 0,6 этой величины. Электросварка, легче и прочнее кузнечной, дала возможность получать соединения, которое не только не снижало коэффициент прочности стыкового шва, но даже повысило его до 140% сопротивления свариваемого металла. С введением электросварки отпала необходимость в заклепках и накладках, в результате чего вес металлических конструкций удалось уменьшить до 50%.

Большое значение в прогрессе строительства имело распространение электрического освещения, которое пришло на смену освещению газовому. Особенно важной была прожекторная форма — система заливающего света, при которой на специальных мачтах высотой 15—30 м укрепляли 6—12 ламп мощностью 500—2000 Вт. Введение этой системы позволило круглогодично вести строительные работы, которые ранее всегда выполняли только в дневное время.

Прогресс в области электроэнергетики затронул и ряд других вопросов, неразрывно связанных со строительной техникой. Один из них — использование утилизационного тепла паротурбинных электростанций. Разрешение проблемы отвода огромных количеств горячей конденсационной



Владимир Григорьевич Шухов
(1853—1939 гг.)

воды с электростанций открыло возможность использования ее для отопления промышленных и жилых зданий. В результате было положено начало строительству крупных комбинированных энергетических объектов, вырабатывавших не только электроэнергию, но и тепло в виде горячей воды и пара.

Применение электроэнергии оказало огромное влияние на строительство многоэтажных зданий, чему во многом способствовало развитие на базе электропривода техники вентиляции и водонасосного хозяйства.

Электромотор освободил вентилятор от связанной с использованием пара групповой ременношкивной трансмиссии и обеспечил возможность ставить его в любой требуемой условиях эксплуатации точке здания. Кроме того, резко возросла эффективность вентиляционных средств, оснащенных электроприводом. Если при паровом приводе напор достигал максимального значения 5—10 мм вод. ст. и производительность не превышала 1700 м³/мин, то электрические вентиляционные установки позволили увеличить напор до 100 мм вод. ст. и производительность до 2800 м³/мин.

Аналогичным был результат применения в водоснабжении работающих от электромоторов быстроходных центробежных насосов. Если лорншевые паровые насосы при максимальной скорости вала 300 об/мин могли поднять воду на высоту не более 50 м, то электрическая установка позволила повысить скорости до 750, 1000, 1500 и 3000 об/мин и напор до 60—100 м. Этим было обеспечено водоснабжение многоэтажных зданий, начало строительству которых было положено сооружением в 1893 г. 20-этажного дома в Чикаго.

Наряду с этим строительная техника сама оказала большое влияние на электроэнергетику. Так, железнотранспортирование расширило возможности строительства громадных плотин для гидроэлектростанций. Крупнейшим сооружением являлась плотина Кео-Кук, построенная в 1912 г. на реке Миссисипи. Плотина имела длину 1440 м, ширину по низу 13 м, высоту над уровнем воды 13 м располагала водостовами с металлическими затворами, управляемыми при помощи электричества из здания станции. Она обслуживала установку мощностью 200 тыс. кВт и передавала электрический ток в г. Сан-Луис на расстоянии 272 км.

Не менее важную роль сыграл прогресс металлоконструкций в развитии передачи электрической энергии на большие расстояния, а также радиосвязи, предъявивших спрос на высокие антенны и мачты электросетей.

3. ОСВОЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

К 70-м годам XIX в. широкое распространение в строительстве получили цементный бетон и прокатное железо. Специфические эксплуатационные свойства каждого из названных материалов обусловили их преимущественное применение в той или иной области строительства. Специфичность бетона — высокая прочность на сжатие, огнестойкость, водостойкость, жесткость и долговечность. Но наряду с этим бетон слабо сопротивляется растягивающим усилиям, в отличие от железа, прекрасно работающего на сжатие, растяжение и изгиб [13, с. VI—XII]. Недостаток железа — высокая коррозионность и слабая огнестойкость [7, с. 37; 8, с. 33].

По механическим свойствам бетон и железо совершенно различны. В связи с этим инженерная мысль долгое время и не пыталась соединить вместе эти два материала. Решение данной задачи было найдено на практике.

Работая, как и всякий камень, на растяжение во много раз хуже, чем на сжатие, бетон, широко вошедший в употребление в середине XIX в., оказался пригодным для тонких перегородок, тонкостенных резервуаров, а также балок пролетом более 4 м, который лимитировался малой прочностью их нижней зоны, испытывающей растяжение. Было также замечено, что железо при температурах выше 500°С становилось текучим, теряя при этом до 50% своей прочности на растяжение. В результате чего конструкции из него утрачивали свою несущую функцию. вполне естественно, что строители заинтересовались возможностью усиления одного из этих материалов другим [3, с. 71].

Отнезачиту железа предложил англичанин В. Ферберн, который в 1859 г. одел бетоном и снаружи и изнутри свод из листового железа, уложенный по тавровым ребрам. Упрочнил бетон француз Ж. Монье. В 1862 г. он изготовил большие цветочные кадки из железа и цемента, в которых каркас из железной проволоки покрывался затем цементным раствором. Насколько актуальна была проблема соединения железа с бетоном, видно из того, что почти одновременно с Ферберном и Монье его занимались англичанин И. Брюнел (1835 г.), француз Ф. Куанье (1861 г.), американцы Т. Хайят (1870 г.) и В. Е. Уорд (1875 г.). Однако заслуга широкого практического внедрения армированного железобетона принадлежит именно Монье, который в течение 11 лет применял его в производстве труб, плит, мостов, лестничных маршей, железнодорожных шпал, плоских и сводчатых покрытий.

Действительно самостоятельным новым строительным материалом железобетон стал лишь после того, как немцы Г. Вайс и М. Кёнен в 1887 г. перенесли арматуру из середины сечения, куда ее укладывал Монье, в нижнюю, испытывающую растяжение зону балки и плиты. Известно, что Монье, увидев изготовление плиты на одной из берлинских построек, возводившихся Вайсом, запротестовал против новой технологии, сердито спросив: «Скажите, кто изобретатель этой конструкции — Вы или я?». На это производитель работ спокойно ответил: «Вы первый соединили железо с бетоном, и поэтому я называю эту конструкцию системы Монье, но я первый правильно расположил железо в бетоне, хотя, к сожалению, и не мог получить на это патента» [7, с. 37].

Увеличение пролета железобетонной плиты до 5 м, ставшее возможным после новшества, внесенного Г. Вайсом и М. Кёненом, вскрыло, однако, противоречие между ее собственным весом и ее несущей способностью. Вес плиты по мере роста пролета увеличивался быстрее, чем росла ее линейные размеры. Доля ее собственного веса в общей нагрузке на конструкцию достигала такого значения, что перекрытие смогло нести только само себя. Нижние две трети бетонного компонента плиты становились «мертвой массой», и железобетонная конструкция достигала своего первого весового («гравитационного») барьера. Решение было найдено бельгийцем Ф. Геннебом, который в 1892 г. удалил из промежутков между основными элементами арматуры (стержнями сопротивления) нижние две трети бетона и заменил таким образом прямоугольное сечение

плиты ребристым, объединив плиту с балкой, что позволило увеличить пролет до 6 м [13, с. VIII].

Однако ребристая плита Геннебика, увеличив пролетные возможности этой системы перекрытия по сравнению с плоской плитой Монье, создала неудобство, уменьшив как раз на величину ребер полезный объем помещения. Это особенно почувствовали при сооружении производственных зданий. И специалисты по железобетону стали искать пути повышения жесткости плоской плиты. Он был найден в укладывании двупутной арматуры, т. е. в армировании в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Приоритет этого изобретения принадлежит русскому инженеру А. Ф. Лойтеву [14, с. 246; 15], который предложил (1905 г.) и осуществил такое безбалочное перекрытие в 1909 г. при сооружении пятиэтажного фабричного корпуса и рассчитал его как систему широких пересекающихся балок, работающих в двух направлениях. За рубежом это решение было найдено только в 1913 г. американцем Г. Г. Злаги.

В России железобетонное строительство началось с возведения в 1884 г. свода пролетом 4,26 м на ткацкой фабрике в Реутове. При этом наши отечественные строители разработали оригинальные решения [14, с. 244]. Так, Н. М. Абрамов (1904 г.) и В. П. Некрасов (1907 г.) предложили новое средство борьбы с поперечной деформацией колонн: первый — четырехгранную спираль арматуры вместо введенной в 1902 г. французом А. Г. Консидером цилиндрической, требовавшей для колонн более сложной опалубки; второй — так называемые сводные связи в виде поперечных расположенных в колонне металлических сеток. А. Ф. Лойтев создал плоское безбалочное перекрытие, о котором говорилось выше.

Применение сталей повышенной прочности (более 22 кг/мм²), вызванное потребностью в большепролетных сильнонагруженных конструкциях, выявило большую разницу линейной деформации компонентов железобетона на растяжение: железа (1—10 мм на 1 м длины) и бетона (лишь 0,1—0,15 мм). Так на пути развития этого материала встал новый барьер — деформационный [16, с. 10]. Сцепление железа и бетона, явившееся одной из важнейших предпосылок сочетания их в единый строительный материал, здесь стало деконструктивным фактором. Оно обусловило появление трещин в минеральной составляющей, которые, превысив ширину 0,2—0,3 мм, открывали доступ к арматуре влаги, воздуха и других веществ, ускоряющих коррозию материала конструкции. Расстояние между трещинами, их число и ширина зависели от величины силы сцепления. При слабом сцеплении это расстояние было больше, число трещин меньше и ширина их значительнее. При более прочном сцеплении промежутки между трещинами становились меньше, число трещин больше и каждая из них в отдельности уже. Чтобы уменьшить расстояние между трещинами и, следовательно, их ширину, потребовалось усилить сцепление арматуры с бетоном. Этого достигли, заменив гладкую арматуру стержнями переменного периодического профиля. Повысив сцепление примерно в два раза, удалось во столько же раз уменьшить ширину раскрытия трещин. Это позволило применить сталь прочностью до 30 кг/мм² и увеличить пролеты сборных железобетонных балок до 9 и даже до 12 м.

Проведенные в 1887 г. М. Кёненом и И. Баушингером (Германия) экспериментальные исследования железобетонных балок и плит обнаружили, что при появлении в растянутой зоне бетона трещин нейтральная

плоскость вопреки первоначальному предположению начинала приближаться к верхней части [17, с. 172—173]. Это поставило под сомнение всю теорию Кёнена. Исходя из кёненовской идеи полной согласованности работы железа и бетона, немецкий инженер Ф. Нейман в 1890 г. предположил, что железобетонную плиту можно рассматривать как однородное тело и поэтому к ней применима обычная формула изгиба. Но, учитывая разницу модулей упругости металла и бетона, он ввел в расчет специальный множитель, выражающий отношение между обоими модулями. Это позволило неоднородное сечение армированного металлом бетонного элемента условно выразить в однородном сечении, что получило название «приведения железа к бетону».

Так было положено начало теории железобетона, названной впоследствии классической.

Конкуренция бетона и железобетона с кирпичом создала проблему усовершенствования кирпичной кладки. Наступило время, — писал американец Ф. Б. Гильбрет в своей книге «Система кладки кирпича», — когда каменщики должны осознать тот факт, что поставлено на карту само существование их ремесла [18, с. 122]. Это было осознано, но вызвало совершенно неправильную реакцию. В некоторых штатах Америки каменщики стали отказываться от кладки зданий на бетонном фундаменте, в других — заключили соглашение не работать на зданиях с железобетонным каркасом. Это вынудило фирмы, применявшие бетон и железобетон, совершенно отказаться от кирпича. Гильбрет сам, прежде чем стать подрядчиком каменных работ, 10 лет проработавший рядовым каменщиком, поставил задачу «найти способ конкуренции с этим древнейшим и вместе с тем новейшим строительным материалом — бетоном» и пришел к выводу, что надо ввести новые приспособления для того, чтобы снизить стоимость каменной кладки. «Настало время, когда каменщик должен перейти при работе с раствором к иным инструментам, чем кельма» [18, с. 122], а именно — к поливной лопаточке с кельмой в качестве съемной ручки. Проанализировав 18 традиционных, завещанных еще эпохой ремесла движений каменщика, он установил, что 13 из них затрачиваются на поднятие и опускание корпуса мастера, требующие при кладке 1000 кирпичей за смену 50 000 кг/м работы. Чтобы устранить такой непроизводительный расход рабочей силы и времени, он исключил эти 13 движений, введя высокие подставки для кирпича и растворных ящиков. Гильбрет совершенно освободил каменщика от изготовления раствора, передав эту работу специальному рабочему. На подносчиков была возложена обязанность размешивания раствора и поддержания его требуемой консистенции.

4. НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Прогресс в области строительной техники способствовал созданию в рассматриваемый период многих оригинальных сооружений.

В 1885 г. Г. Эйфел [7, с. 28—30; 8, с. 28], предполагавший строить металлический мост, устои которого должны были иметь высоту 121,9 м при ширине основания 42,6 м, вычислил наибольшую высоту, до которой можно довести металлические башни этого моста без опасности катастрофы.

Он выяснил, что, кроме собственного веса, высоту лимитирует ветровая нагрузка, и определил, что предельная высота равняется 300 м, а на постройку должно пойти 890 445 м³ прокатного железа общим весом 7 тыс. т.

Опираясь на свои расчеты, Г. Эйфель задумался целью построить для Всемирной выставки 1889 г. в Париже стальную решетчатую башню высотой 1000 футов (305 м), о чем он писал: «Мне захотелось в честь современной науки и французской индустрии соорудить такую триумфальную арку, которая по создаваемому ею впечатлению превзошла бы арки, возводившиеся в честь победителей предшествующих поколений» [19].

Предварительный проект задуманной им башни был составлен инженерами Эмилем Кутье и Морисом Кёлином. Затем он был переработан по указаниям и под руководством самого Эйфеля. Составители предварительного проекта и строили башню, руководил же строительством непосредственно Эйфель.

Громадный вес сооружения удерживался мощным фундаментом. На который пошло 12 тыс. м³ каменной кладки, а ветровую нагрузку восприняли четыре изогнутые металлические ноги. Они имели такую кривизну, что могли сопротивляться боковому давлению ветра своим взаимным упором без устройства дополнительных связей. Таким образом получалась очень вытянутая сквозная металлическая пирамида, высота которой вдвое превышала пирамиду Хеопса, а сторона основания была в два раза меньше.

Выполнить эту постройку удалось благодаря достижениям в области техники прокатки металлов и сборки металлических конструкций. Прокатный стан дал строительству тавровое и двутавровое железо. Паровые дыропробивные и клепальные машины позволили быстро соединить куски конструкций на заводе. Железная дорога дала возможность транспортировать большие звенья конструкций непосредственно на строительные площадки.

Паровые краны обеспечили подъем этих элементов на место их установок, где их прикрепляли вручную. Большое значение имело использование в подъемных устройствах стальных тросов, заменивших пеньковые канаты.

В России наиболее яркие и примечательные сооружения были возведены на Нижегородской выставке в 1896 г. К их числу относятся построенные выдающимся русским ученым В. Г. Шуховым павильон строительного и инженерного отдела и водонапорная башня [20].

Чтобы покрыть круглое пространство павильона диаметром 68 м, В. Г. Шухов использовал конструкцию конического шпигетового шалаша, состоящего из пнятой сетки, опирающейся вершиной на стойку, а по основанию закрепленной кольщиками. Опорный шест был заменен жестким 25-метровым стальным кольцом, лежащим на сквозных металлических колонках, а система кольшков — 68-метровым кольцом, опирающимся на стеновое ограждение. Верхнее кольцо было затянато диафрагмой из листовой стали, а боковая поверхность образовывалась усеченного конуса заполнена сеткой из стальных полос, склепанных в местах их пересечения. В ячейках сетки поместили плитки ромбической формы, заполняющие пустоты. Конструкция потребовала огромного количества заклепок: клепальные работы выполняли главным образом механическим способом. Отдельные секции сооружения изготавливали на московском заводе строительной конторы А. В. Бари.

Самой замечательной частью была середина павильона. «Центральная часть здания, — писал об этой постройке крупнейший тогда авторитет по инженерным конструкциям профессор П. К. Худяков, — покрыта волнугтой внутрь чашей из тонкого листового железа, края которой прикреплены к верхнему кольцу. Первое подобное покрытие тогда три назад было выполнено с каменными стенами на котельном заводе инж. А. В. Бари в Москве... Опыты с такими покрытиями, сделанные в последние сильные зимы, показали, что в чаше снег не держится вовсе, весь выдувается из нее и опасения относительно продавливания чаши с такими стенками под тяжестью снега оказываются лишними всякого основания» [21, с. 171]. Собиравшуюся на этом покрытии воду от таяния снега и дождя удаляли при помощи специальных сливов. Для скептиков, которых было более чем достаточно, строитель соорудил специальную смотровую лестницу.

П. К. Худяков отметил, что «в существующих курсах инженерного и строительного искусства бесполезно было бы искать на этот случай каких-либо указаний... Поэтому ясно, что подобные покрытия не могли быть созданы заурядными инженерами и архитекторами, имеющими хотя бы и большую практику по копированию существующих устройств; для этого нужна была особенная, неумолимая пытливость ума самостоятельного инженера, с полным сознанием относящегося к каждой новой работе, которая проходит через его руки... Изыскание такой поверхности явилось у изобретателя результатом самостоятельного математического анализа» [21, с. 169—172].

Однако в течение 36 лет до постройки в 1932 г. элеватора в Ольбани (штат Нью-Йорк, США) замечательная конструкция В. Г. Шухова не только не получила распространения, но и была забыта. Даже такой осведомленный автор, как Ф. Отто, писал: «Начало развитию современных висячих покрытий было положено в 1932 году сооружением висячей кровли элеватора в Ольбани из листовой стали... Достойн сожаления тот факт, что замечательная идея... не получила развития в сооружениях последующих лет». Ф. Отто объясняет это тем, что такое покрытие было воспринято скорее как своеобразный инженерный курьез, а не как серьезное достижение инженерной науки [22, с. 7; 23]. Но эти строки, как мы видим, должны быть отнесены не к элеватору в Ольбани в США, а павильону на Нижегородской выставке 1896 г. в России.

Большой интерес представляет водонапорная башня В. Г. Шухова, выполненная в виде трубы гиперболической формы, что позволило при ее создании отказаться от трудоемких гнутых стальных элементов, очень сложных к тому же и в сборке. 72-метровое сооружение оказалось почти на 45% дешевле по сравнению с другими металлическими конструкциями [14, с. 169—174; 23, с. 159—169]. В 1904 г. гиперболический В. Г. Шухова был использован без указания его приоритета в смотровых башнях американского флота.

Наконец, крупное новшество представляли примененные Шуховым на Нижегородской выставке арочные сетчатые системы, наиболее выразительным примером которых явился павильон заводско-ремесленного отдела. Составив цилиндрический свод из перекрывающихся арок, расположенных наклонно к оси конструкции и поэтому имеющих форму эллипса, он придавал ромбам ячеек такие размеры, что кровля укладывалась

прямо на получившийся каркас без применения обычно предусматривавшихся для этих целей прогонов. Небольшая длина свободных стержней, составляющих контур ячейки, скрепленных в местах пересечений, обеспечила их хорошее сопротивление продольному изгибу. Этими сводами на выставке были перекрыты 5 зданий пролетами от 13 до 32 м общей площадью 20 000 м².

Представляют интерес сооруженные известным французским строителем Эженом Фрейсине ангары для дирижаблей в аэропорту Вильнев Орли (строительство началось в 1913 г.). Перед конструктором стояла грандиозная задача построить свод 300 м длиной, пролетом 91 м и со стрелой подъема 39 м. Ясно отдавая себе отчет в том, какие трудности создаст громадный собственный вес сооружения, Фрейсине решил пожертвовать толщиной свода [7, с. 36—45; 24, с. 166, 268, 292, 319].

Он применил конструкцию, уже практиковавшуюся в железе, но не употреблявшуюся еще в железобетонных сооружениях. Фрейсине изогнул поверхность свода волнообразно, напоминая того, как это было в сводах из волнистого железа. Такая складчатая конструкция устранила традиционное разделение сооружения на несущие и несомые элементы, превратив несомое в несущее. Благодаря этому толщина свода была доведена до 35 см у основания и до 9 см в вершине. Большую трудность создавали громадные размеры кружала, установка и передвижение которых были очень сложным делом. Кроме того, складчатая конструкция свода исключала возможность простого перемещения один раз установленного кружала по всей оси здания. После отливки каждой складки предстояло вынуть из нее кружало, опустив его вниз, и уже только после переставить его на новое место. Но при такой комбинации не представлялось возможным пользоваться кружалами, равными по величине аркам складок: при таких размерах их нельзя было опустить вниз. Стремясь выйти из этих затруднений, Фрейсине решил строить свод в три приема, разделив сооружение на три горизонтальные зоны.

Заложив на глубину двух метров железобетонные фундаментальные плиты, он возвел 4-метровые наклонные стенки. Здесь в качестве опалубки можно было ограничиться деревянными щитами, устанавливаемыми с помощью кранов. Во второй зоне высотой 17 м щиты оказались пригодными только для наружной части опалубки. внутреннюю же часть ее Фрейсине решил выполнить в виде цельной 17-метровой дуги. Чтобы обеспечить передвижение опалубки от одной складки к другой, он воспользовался системой двух передвижных платформ. Одна из них передвигалась по рельсам, уложенным вдоль пят свода; другая, поставленная на первую, двигалась по рельсам в направлении, перпендикулярном движению первой. Это дало возможность вынимать кружало из уже готовой складки.

Неизмеримо более сложным оказалось сооружение перекрытия на двух полученных таким образом наклонных стенках. Здесь кружала должны были иметь форму полной арки, и чтобы вынуть их из складки, их приходилось опускать вниз. С этой целью Фрейсине воспользовался специально сконструированными подъемниками, действовавшими при помощи гидравлических домкратов. Учитывая, что домкраты могут обеспечить лишь поднятие и опускание кружала и что оно при громадной величине может подвергнуться нежелательным деформациям,

инженер применил систему вантов, которые связывали каждую из ветвей арки с противоположной опорой, пересекаясь таким образом внутри кружала. Натягивая их, можно было обеспечить очень точную установку. Кроме того, была применена еще металлическая, тоже допускавшая натяжение и ослабление затяжка.

Разрешив проблему опалубки, Фрейсине разработал систему механизации работ, без которой невозможно было вынуть 9600 м³ грунта, увязать 580 т арматуры, залить 11 тыс. м³ бетона и вставить 3800 м² оконного стекла. Для поднимания арматуры, бетона и наружной опалубки служили деррикы. Четыре таких деррика были установлены на платформах, укрепленных сбоку кружала. Для трамбовки бетона, который без этого с трудом пропикал в узкий промежуток между наружной и внутренней частью опалубки, использовали пневматические молотки.

5. ДОСТИЖЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ НАУКЕ

Большой и оригинальный вклад в строительную механику этого периода сделал В. Г. Шухов. Как и для многих передовых русских ученых его поколения, для него было характерно «стихийное» применение в исследованиях чуждой большинству тогдашних инженеров материалистической диалектики.

Прекрасной иллюстрацией общего диалектического склада мышления В. Г. Шухова является его работа над проектированием нефтяных резервуаров, позволившая ему решить задачу оптимального объема нефтяных резервуаров [37, с. 35—37]. Из практики он знал, что по конструктивным соображениям при сооружении резервуара любого размера предусмотрен некоторый излишек металла, бесполезный для сопротивления действующим в сооружении усилиям. С точки зрения формальной логики получается, что для хранения удвоенного количества нефти выгоднее всего заменять два резервуара одним удвоенного объема. Однако это наталкивается на «практические неудобства, сопровождающие клепку, чеканку и опускание днищ резервуаров больших размеров». И существует «предел, за которым увеличение размеров резервуара теряет всякое значение». Он определяется величиной выгоды от экономии материала, «бесполезного для сопротивления» испытываемым сооружением усилиям. Расход этого материала зависит, как установил исследователь, от толщины стенок сооружения и от соотношения прочности материала и давления единицы высоты жидкости. Таким образом, задача конструктора состоит в том, чтобы найти предел, характеризующий переход количества в качество.

Особенно замечательным в исследованиях В. Г. Шухова было то, что он задолго до оформления кибернетики в самостоятельную науку, так же как и его соотечественник и ровесник, кристаллограф Е. С. Федоров, использовал метод аналогий.

«Инженер Шухов, — писал в 1919 г. П. К. Худяков, начиная задуманное им описание всех сокорелативных теоретических исследований этого Ученого, — останавливается в своих работах прежде всего на интересной аналогии, существующей между поворотом поперечного сечения у плавающего тела и поворотом поперечного сечения упруго согнутой балки.

В обоих случаях этот поворот характеризуется, действительно, одним и тем же в сущности формулами [10, с. 4].

Свой двадцатилетний опыт инженерных расчетов В. Г. Шухов обобщил в брошюре «Уравнение $EI \frac{d^2y}{dx^2} = -dy$ в задачах строительной механики», изданной в мае 1903 г. «Насколько мне известно, — писал он в этой работе, — в литературе по строительной механике не рассматривается вопрос о непосредственном приложении производной четвертого порядка к анализу изгиба прямых балок, а между тем применение это упрощает решение многих вопросов» [25, с. 53]. Основываясь на этом, Шухов указывает способ приложения данного уравнения к простому решению разнообразных задач.

Теоретическая заслуга В. Г. Шухова состояла в том, что он сумел превратить последовательное интегрирование дифференциального уравнения четвертого порядка из приема решения частной задачи бруса на упругом основании, известного немецкому ученому А. Фёпpler, в универсальное средство расчета любых балок.

Разработанная В. Г. Шуховым методика использования физических аналогий была далее развита в 1900 г. немецким ученым Л. Прандтлем и в 1916 г. нашим соотечественником Н. И. Мусхелишвили [9, с. 471—476]. Изучая форму провисания образованной в кольце в виде мембраны мыльной пленки, Прандтль установил, что на ней можно найти все данные о распределении напряжений в подвергнутом кручению стержнях. В 1917 г. англичане А. А. Гриффитс и Д. Тейлор [9, с. 471] распространили этот прием на определение жесткости при кручении брусьев разнообразных сложных профилей. Мусхелишвили же установил аналогии напряжений, являющихся результатом деформации, и напряжений, вызываемых изменениями действующего на нее температурного поля.

Кроме метода физических аналогий, строительная механика этого периода пополнилась оптическим методом исследования напряжений и моделированием.

Основоположник метода исследования напряжений при помощи поляризованного света Д. К. Максвелл еще в 1850 г. писал: «Доктор Брюстер (1816 г.) открыл, что механическое напряжение вызывает в прозрачных телах временную анизотропию в отношении поляризованного света, а Френель (1822 г.) отождествил эту анизотропию с двойным лучепреломлением в кристаллах» [9, с. 301]. Просвечивая поляризованным лучом модели из желатина и стекла, он обнаружил линии одинакового цвета (изохром), соответствующие местам, в которых разность главных средних нормальных напряжений имеет одну и ту же величину. Таким образом была получена полная картина распределения напряжений в модели. Однако предложение Максвелла не получило применения до 1891 г., когда его соотечественник К. Вилсон [9, с. 420] использовал для исследования балки этот оптический метод, получивший название фотоупругости. В России начало оптическому анализу напряжений положил в 1903 г. проф. В. Л. Кирпичев [9, с. 384].

Ряд проблем возник перед наукой также при изучении минерального компонента железобетона.

Еще в 1891 г. француз Р. Фере нашел, что прочность бетона пропорциональна отношению объема цемента к объему воды затворения, сложив-

ному с объемом воздушных пор в бетоне. В 1909 г. венгерский профессор К. Целинский установил, что эту зависимость удобнее выразить обратным отношением — водоцементным [25, с. 26]. Но и Фере и Целинский рассматривали предложенные ими выражения лишь как средство лабораторного изучения бетона и не смогли в то время практически использовать свои выводы непосредственно на строительстве. Это удалось сделать только в следующую эпоху. Бельгийский специалист по железобетону П. Кристоф, сопоставляя эффективность строительства различных сооружений из традиционных материалов, писал, что «железобетонные сооружения возводятся гораздо быстрее». Он отмечал, что для них нужны «столько общепотребительных материалов» и строительство их не требует к тому же «мощных подъемных механизмов и особых транспортных приспособлений». Но вместе с тем он признавал, что единственное неудобство заключается в медленности процесса твердения, которая вынуждает ждать несколько недель, прежде чем можно будет пустить сооружение в эксплуатацию [26, с. 776].

Это заставило ученых заняться экспериментальным исследованием процесса твердения. Испытывая образцы в возрасте от 3 дней до 6 лет, К. Вах в 1905 г. установил, что трехдневная прочность составляет около трети, а семидневная примерно две трети месячной прочности, которая через год увеличивается в полтора, а через 6 лет в два раза. Он выразил найденную им зависимость довольно сложной формулой [17, с. 36—37, 159].

Набирание бетоном эксплуатационной прочности в результате длительного процесса твердения вызвало попытки ускорить реакцию гидротермальной обработкой. Опыты Р. Фере (1897 г.) показали, что благодаря пропариванию прочность, получаемая при температуре 15° С в течение 15 дней, достигалась на шестой день при 25° С, а при 35° С даже на четвертый день [17, с. 49].

Уотербриение цементов, твердеющих в отличие от воздушной извести и гипса не из-за высыхания, а, наоборот, в условиях неперемного сохранения влажности, вызвало у химиков интерес к природе твердения этого вида материалов [1, с. 170].

Французский ученый А. Л. Ле Шателье в 1887 г., опираясь на хорошо изученный к этому времени химиками процесс кристаллизации, объяснил гидравлическое твердение образованием сростков из переплетающихся кристаллов, аналогичным известному уже тогда механизму твердения штурганного гипса. Однако микроскопические исследования затвердевшего портландцемента, обнаружившие вместо сростков аморфную некристаллическую массу, заставляли искать других объяснений. Л. Михаэлис (Германия), исходя из достижений коллоидной химии, высказал догадку, что процесс сводится к появлению вокруг зерен цемента в результате их набухания под действием воды плотных студий, которые затем перерастают в кристаллические образования. Однако его теория не давала объяснения твердения гипса, где получаются кристаллические структуры, но совершенно отсутствует коллоидное вещество.

Двойственная роль воды затворения и как средства получения Рабочей консистенции смеси, и как химического реагента — заставляла искать ее оптимальную дозировку.

В 1885 г. русский инженер И. Самович в своих опытах, связанных с постройкой Севастопольского порта, установил связь прочности бетона с количеством воды затворения и пришел к выводу, что оно складывается «из воды, потребной для образования цементного теста, и воды на смачивание песка и гравия». В 1891 г. профессор Военно-инженерной Академии И. Г. Малиго нашел, что наивысшая прочность бетона приблизительно соответствует тому проценту содержания воды, при котором в конце трамбования образца на поверхности его появляется влага. Эта величина, устанавливающаяся тогда опытным путем, получила название «пункта насыщения». Первоначально дозировку воды определяли на ощупь. «Чтобы убедиться в надлежащей регулировке количества воды,— писал в 1899 г. П. Кристоф,— берут в руки немного бетона и скатывают в шарик. Вода должна показаться на поверхности, и шарик должен на ладони сохранять свою форму» [26, с. 431].

* * *

Почти полувекое развитие строительной техники за период становления монополистического капитализма оставило следующей эпохе ряд неиспользованных на практике открытий и изобретений, а также поставленных, но еще не решенных задач. Они касались и строительных материалов, и конструкций, и способов производства работ, и, наконец, научных методов. Достаточно назвать лишь самые важные из них.

В области строительных материалов следует упомянуть открытие в 1912 г. немецким профессором Э. Мершем эффекта предварительного натяжения арматуры, задерживающего образование трещин в бетоне. Это положило начало применению предварительного напряженного бетона, введенному в строительную практику в 20-х годах XX в. французом Э. Фрейсине [16, с. 398—404; 17, с. 389].

В сфере конструкций можно назвать открытие в 1889 г. французом Консидером способности бетона к удлинению, которое в наибольшей степени обнаруживается в непосредственной близости к арматуре и изменяется в зависимости от количества ее в теле бетона. Это открытие дало итальянцу П. Л. Нерви [27, с. 7] возможность впоследствии создать конструктивные элементы в виде тонких скорлуп, состоящих из пакетов стальных сеток, залитых цементным раствором.

Заложенная в 1910 г. американцем Д. Кондельманом система крупнопанельных сооружений [28, с. 46] позже развилась в подсобное строительство. Его завершением явился механизированный монтаж зданий из готовых блоков-коробов полностью заводского изготовления.

В качестве важнейшей эстафеты строительной науки следует отметить исследование напряжений в прозрачных моделях конструкций методом «замораживания» их оптической картины. Этот эффект был достигнут Максвеллом путем высушивания желатиновых моделей. Такой прием задавал возможность сохранять в модели изображение траекторий главных напряжений и после снятия с них нагрузки. В 1938 г. американец М. Хатени распространил поляризационный оптический метод с двухмерных, плоских напряженных состояний на пространственные трехмерные [9, с. 325, 327, 461].

ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕООРУЖЕНИЕ ТРАНСПОРТА

XIX век стал переломным в истории средств и путей сообщения, поскольку начало их интенсивному развитию. За относительно небольшой промежуток времени — первые две трети XIX столетия — был сделан переход от первых, еще весьма несовершенных паровозов и пароводов к сложившейся системе скорого и надежного транспорта, обеспечивавшего нужды бурно развивающегося капитализма. Развитие капиталистические страны были покрыты сетью железных дорог, основные мировые рынки на разных континентах были связаны пароходным сообщением. К концу XIX — началу XX в. резко возросли грузооборот и потребность в массовых перевозках продукции тяжелой промышленности, особенно горнодобывающей, металлургической, машиностроительной, а также лесных, строительных и других материалов.

Характеризуя возросшую роль железнодорожного транспорта под влиянием роста капиталистического производства, В. И. Ленин указывал: «Железнодорожи, это — итоги самых главных отраслей капиталистической промышленности, каменноугольной и железодобывательной, итоги — и наиболее наглядные показатели развития мировой торговли...»¹.

В рассматриваемый период велось усиленное железнодорожное строительство, охватившее не только ведущие капиталистические страны, но и их колонии. Усиленными темпами строили железные дороги в странах Южной Америки, Азии, Африки, а также в Австралии. В начале XX в. протяженность железных дорог во всем мире превысила 1 млн. км. Интенсивность строительства железных дорог особенно возросла в 80—90-х годах XIX в. и перед первой мировой войной. Военно-стратегическое значение железных дорог явилось одним из факторов, способствовавших их быстрому развитию. Этим объясняется тот факт, что правительства многих государств всемерно содействовали развитию сети железных дорог, финансируя строительство, передавая бесплатно государственные земли частным компаниям.

Развитие железнодорожного транспорта способствовало централизации капитала, ибо строительство железных дорог было под силу только крупным компаниям, о чем К. Маркс писал: «Мир до сих пор остался бы без железных дорог, если бы приходилось дожидаться, пока накопление не доведет некоторые отдельные капиталы до таких размеров, что они могли бы справиться с постройкой железной дороги»².

Наряду с железнодорожным строительством интенсивно развивался водный транспорт. Особенно большие качественные изменения произошли в технике морского транспорта, вызванные быстрорасширяющейся между-

¹ Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 27, с. 304.

² Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 23, с. 642.

народной торговлей и совершенствованием военно-морских флотов. Водный транспорт оказал огромное влияние на строительную индустрию, потребовав сооружения крупных морских и речных портов, доков, каналов.

Рассматриваемый период ознаменовался также появлением и развитием принципиально нового вида транспорта — автомобильного. Создание автомобиля было неразрывно связано с изобретением двигателя внутреннего сгорания и достижениями в области машиностроения. В результате к концу XIX — началу XX в. возникла новая отрасль промышленности — автомобильная. И несмотря на то что удельный вес перевозок автомобилями был в то время еще очень незначительным по сравнению с железнодорожным транспортом, сам факт его появления — событие огромного значения в истории общества.

Общий подъем железнодорожного транспорта, появление автомобиля оказали влияние на строительство мостов и тоннелей. Автомобильный транспорт вызвал усиленное строительство шоссейных дорог.

1. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Во второй половине XIX в. железные дороги в Европе и Северной Америке связывали крупнейшие города, промышленные и торговые центры, что резко снижало транспортные расходы и способствовало увеличению объема торговли. Протяженность и густота железнодорожной сети находились в прямой зависимости от экономического и прежде всего промышленного развития данной страны. Наиболее сильные в экономическом отношении страны обладали наиболее совершенной сетью железных дорог, что давало им дополнительные преимущества в темпах экономического развития [1].

В последней трети XIX в. темпы строительства железных дорог значительно увеличились, охватывая практически все развитые страны. Протяженность железных дорог мира характеризуется следующими данными, тыс. км: 1870 г. — 207,9; 1900 г. — 790,5; 1917 г. — 1146.

За этот период протяженность железных дорог во всех странах возросла в 5,5 раза. Особенно быстро развивалось железнодорожное строительство в колониальных и полуколониальных странах Азии и Америки, где к началу XX в. сеть железных дорог увеличилась в 8 раз [2, с. 243], причем пять стран — США, Великобритания, Россия, Германия и Франция владели 80% всего количества железных дорог мира.

Благодаря железным дорогам было установлено надежное сообщение между районами большинства капиталистических стран мира. Это обеспечивало эффективные экономические связи между отдельными государствами. Железнодорожными артериями стали соединять отдаленные на тысячи километров города и морские порты и даже континенты.

Ввод в строй в 1869 г. на Американском континенте грандиозной железнодорожной линии между Нью-Йорком и Сан-Франциско, связавшей Тихий и Атлантический океаны, положил начало сооружению трансконтинентальных магистралей.

В конце XIX — начале XX в. была построена железная дорога, пересекающая две части света — Европу и Азию, — Транссибирская маги-

страль. Она связала центр России с крупнейшими торговыми рынками Сибири. Невозможность использования рек Сибири, которые текут в противоположном направлении, и огромные пространства требовали создания в этом обширном районе России железнодорожного сообщения.

Первые предложения о железнодорожном сообщении с Сибирью появились еще в конце 50—60-х годов XIX в. Среди них наиболее известными получили проекты горного инженера В. К. Рашета [3], полковника Е. В. Богдановича и купца И. И. Любимова, относящиеся к 60-м годам XIX в. и предусматривающие соединение железной дорогой бассейнов двух крупнейших рек европейской части России и Сибири — Волги и Оби [4, с. 254].

По проекту В. К. Рашета, имелось в виду связать железнодорожным сообщением Пермь с Нижним Тагилом и Тюменью. Общая протяженность этой железнодорожной линии должна была составить 678 верст. Проект В. К. Рашета, по мнению специалистов того времени, вполне удовлетворял требованиям транзитного пути, являлся наиболее желательным для всей уральской горной промышленности, представители которой весьма сочувственно приняли его [4, с. 254].

В предложении Богдановича (1866 г.) намечалась постройка железной дороги, соединяющей Пермскую и Вятскую губернии с Тюменью через Екатеринбург. В 1868 г. Богданович внес поправки в свой проект, предложив начать строить железную дорогу от села Ершова к Екатеринбургу и далее на Тюмень. По словам автора проекта, намечаемая линия железной дороги, будучи продолжена впоследствии через Сибирь к китайской границе, получила бы важное стратегическое и международное коммерческое значение [4, с. 255].

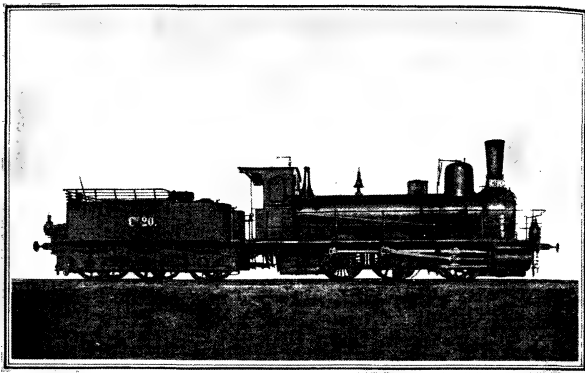
Суть предложенного в 1869 г. проекта Любимова заключалась в создании железной дороги от Перми и далее на Кунгур, Екатеринбург и Шадринск до Белозерской слободы, находящейся в 49 верстах севернее Кургана на реке Тобол, общей протяженностью 711 верст. При этом имелось в виду проложить на север от Екатеринбурга ветку длиной в 131 версту для соединения дороги с уральскими горнометаллургическими заводами [4, с. 255].

Указанные проекты легли в основу записки, поданной правительству в 1869 г. генерал-губернатором Западной Сибири А. П. Хрущовым. В ней отмечалась необходимость скорейшего разрешения вопроса о сооружении Сибирской железной дороги, которую предлагалось провести к Тюмени от Нижнего-Новгорода (ныне г. Горький) через Казань.

После весьма долгого обсуждения Комитет министров принял в 1875 г. решение о строительстве Сибирской железной дороги от Нижнего Новгорода с направлением на Казань, Екатеринбург, Камышлов и Тюмень.

Наряду с этим обсуждались вопросы о сооружении других участков будущей Великой Сибирской железнодорожной магистрали с целью соединения отдельных промышленных районов Сибири. В том же 1875 г. было возбуждено ходатайство о проведении железной дороги от Влазбылово до озера Ханка. В правительственных сферах развернулось оживленное переписки, связанная с прокладкой дорог в Восточной Сибири, а также в Приморской области и Уссурийском крае.

Однако отсутствие финансовой поддержки не позволило осуществить в то время указанные предложения. Строительство железных дорог в восточном направлении коснулось в основном уральского промышленного



Паровоз Коломенского завода (Россия, 1878 г.)

района. В результате в 1877 г. с европейской частью России был связан железной дорогой Оренбург, а в 1878 г. вошла в строй действующих Уральская железная дорога [4, с. 256]. В 1882 г. завершилось строительство железнодорожной линии, связавшей Екатеринбург с Пермью. Эта линия представляла замкнутую и изолированную от остальной сети дорогу, но она играла большую роль в экономике уральского промышленного района [5, с. 59]. В 1885 г. линию Пермь—Екатеринбург продолжили до Тюмени, благодаря чему образовалась Урало-Сибирская островная железная дорога длиной 828 км, а города Тюмень и Пермь превратились в базы для перевала грузов с водного пути на железнодорожный и обратно. В результате начались смешанные железнодорожно-водные перевозки между бассейнами Оби и Волги [6, с. 6, 7].

К концу 1890 г. сеть железных дорог России продвинулась на Восток тремя линиями, крайними пунктами которых были Тюмень (Уральской железной дороги), станция Миасс (Златоустовско-Миасской железной дороги) и Оренбург (Оренбургской железной дороги) [4, с. 260].

Большое значение имела построенная в период с 1885 по 1892 г. восточная магистраль Самара—Уфа—Златоуст—Челябинск. Она стала первым участком будущей Великой Сибирской магистрали.

12 мая 1891 г. был обнародован царский рескрипт о сооружении «Великого Сибирского рельсового пути» [4, с. 260—261]. Придавая Сибирской магистрали огромное политическое, военно-стратегическое и экономическое значение, царское правительство решило строить ее исключительно на казенные средства, отказавшись от многочисленных предложений русских и иностранных капиталистов.

Великую Сибирскую магистраль строили с двух противоположных направлений. Восточный участок магистрали начали прокладывать в мае 1891 г. от Владивостока до ст. Графской в Приамурье. Летом 1892 г. развинулось строительство с запада на восток — от Челябинска.

Магистраль состояла из 12 основных и вспомогательных линий. Уссурийская линия от Владивостока до Хабаровска протяжением 718 верст была построена за период с мая 1891 г. по ноябрь 1897 г. Западно-Сибирскую железную дорогу от Челябинска до реки Обь длиной 1328 верст строили с июля 1892 г. по октябрь 1896 г. Участок Средне-Сибирской железной дороги от Оби и основанной здесь ст. Новониколаевск (ныне Новосибирск) до Иркутска протяжением 1754 версты строили с мая 1893 г. по 1899 г. Следующий участок магистрали — Забайкальская железная дорога. Она начиналась от ст. Мысовая (г. Мысовск, ныне Бабшунки) на южном берегу озера Байкал до г. Сретенска. Этот участок Великой магистрали длиной 1009 верст был построен в 1895—1900 гг.

Наиболее сложным участком магистрали была Кругобайкальская железная дорога, которая должна была соединить крайний пункт Средне-Сибирской железной дороги — Иркутск со ст. Мысовой Забайкальской железной дороги протяжением 292 версты. Учитывая исключительные трудности сооружения Кругобайкальской железной дороги и необходимость скорейшего открытия движения по магистрали, строительный комитет решил организовать временную паромную переправу через озеро Байкал. Для этого от Иркутска до пристани Листвицкой на озере Байкал была проложена временная железнодорожная ветка, откуда начиналась паромная переправа до ст. Мысовой. В 1900 г. с открытием навигации на Байкале началось прямое «паровое» сообщение между Европейской Россией и Дальним Востоком от Челябинска до Сретенска на расстоянии 4143 версты по железной дороге с переездом через озеро Байкал (60 верст). Для этого был построен специальный паровой паром—ледокол, позволяющий этот вид построен специальный паровой паром—ледокол, позволяющий переправлять через озеро целый железнодорожный состав [4, с. 261; 7, с. 254]. От Сретенска до Хабаровска сообщение осуществлялось на пароходе по рекам Шилке и Амуру (2164 версты) и далее от Хабаровска до Владивостока по Уссурийской железной дороге. Построенная в 1897—1903 гг. Китайско-Восточная железная дорога (КВЖД)³, представлявшая восточное звено Великой Сибирской магистрали, позволила соединить Забайкальскую дорогу с крайней точкой — Владивостоком.

С завершением в 1905 г. строительства Кругобайкальской дороги Великая Сибирская магистраль вступила в строй на всем своем протяжении. Началось сквозное железнодорожное движение. Общая длина магистрали от Челябинска до Владивостока составила около 7 тыс. верст (7416 км) [6, с. 8].

³ Китайско-Восточную железную дорогу — КВЖД (или Китайскую Чанчуньскую железную дорогу — ЧЖЖД) Россия строила в соответствии с русско-китайским договором 1896 г. После русско-японской войны 1904—1905 гг. южное направление КВЖД отошло к Японии. 31 мая 1924 г. КВЖД по советско-китайскому соглашению была признана чисто коммерческим предприятием, совместно управляемым СССР и Китаем. После образования КНР Советское правительство в соответствии с новым советско-китайским соглашением о КВЖД от 14 февраля 1950 г. безвозмездно передало правительство КНР все свои права по совместному управлению КВЖД со всем принадлежащим ей имуществом.

Великая Сибирская магистраль, представлявшая грандиозное техническое сооружение, была самой протяженной железной дорогой в мире. Проложенная через непроходимую тайгу и скалистые горы Забайкалья, она доставляла строителям громадные трудности, связанные с суровым климатом, а в ряде мест и с вечной мерзлотой.

По тому времени Великая Сибирская магистраль строилась чрезвычайно высокими темпами и была завершена менее чем за 15 лет. Таких темпов строительства история еще не знала. На трассе магистрали были возведены мосты через 28 больших рек — Обь, Енисей, Иртыш и др. Общая длина железных мостов через реки составила 9 верст, а деревянных 45 верст [7, с. 256].

Только за первые десять лет строительства магистрали рабочие вручную вынули 10 млн. м³ грунта, доставили 800 тыс. пуд. песка для балласта, 100 млн. пуд. камня и кирпича, 6,5 млн. пуд. цемента, уложили более 20 млн. пуд. рельсов, 9 млн. шпал, вырубili более 40 тыс. десятина леса и т. п. [7, с. 256].

В середине 90-х годов на магистрали работало ежегодно 60—80 тыс. рабочих-строителей из всех губерний Европейской России, Урала и Сибири. Чтобы удешевить строительство, царское правительство в 1891 г. разрешило Сибирскому комитету использовать даровой труд солдат, сильных, арестантов и каторжан [7, с. 256].

«Великая Сибирская дорога» (великая не только по своей длине, но и по безмерному грабежу строителями казенных денег, по безмерной эксплуатации строивших ее рабочих) открывала Сибирь...», — писал В. И. Ленин в газете «Искра» в 1901 г.⁴

Рабочие-строители Великой Сибирской магистрали показали всему миру изумительное трудолюбие, мастерство и мужество. Строительство магистрали явилось крупным достижением русского инженерного искусства. В сооружении Великой Сибирской магистрали принимали участие талантливые русские ученые и инженеры, решившие много сложных научно-технических задач, которые и до сих пор восхищают специалистов-строителей. Ряд сооружений Великого Сибирского пути, в том числе мост через реку Енисей, построенный по проекту профессора Л. Д. Прокурякова, были удостоены высших наград на Всемирной выставке в Париже в 1900 г. [6, с. 8; 8]. Примечательной особенностью строительства было то, что оно опиралось главным образом на технико-экономические возможности отечественной промышленности. Достаточно отметить, что подвижной состав железной дороги в значительной степени был изготовлен на русских заводах. Отечественные металлургические предприятия поставили для строительства Великой Сибирской магистрали большие партии стальных рельсов. Все вагоны и платформы для магистрали были изготовлены в России [5, с. 61].

Стоимость строительства была огромна — 529,31 млн. руб., только изыскания обошлись в 3,4 млн. руб. В 1895 г. по построенному участку было перевезено 211 тыс. человек и 57 тыс. т груза, а в 1898 г. 1049 тыс. человек и около 700 тыс. т груза. Сибирская магистраль дала огромный толчок развитию экономики всей Сибири [6, 9, 10]. Она содействовала дальней-

шему освоению сибирских рынков, российских капиталов, а также переселению главным образом крестьян на новые земли.

Те же тенденции наблюдались и в других странах. Железнодорожное строительство оказывало огромное влияние на развитие экономики. С улучшением коммуникаций расширялись рынки, кроме того, строительство поглощало большое количество материалов и людских ресурсов.

По мере развития сети железных дорог возникала необходимость совершенствования паровозов, быстро увеличивалось производство локомотивов, подвижного состава и рельсов.

Так, в США в 80-х годах XIX в. ежегодно выпускалось около 1700 локомотивов, а в первом десятилетии XX в. — около 4500. В 1900 г. США было выпущено 115,6 тыс. товарных железнодорожных вагонов. Уже к 1875 г. железные дороги потребляли половину выпускавшегося в США черного металла [11, с. 63].

Производство рельсов на американских заводах в 1900 г. увеличилось на 43% по сравнению с 1890 г. и достигло 3 млн. т. Был развернут массовый выпуск стальных штампованных вагонов, что стало возможным благодаря прогрессу металлургии и транспортного машиностроения [7, с. 232].

Аналогичный процесс развития железнодорожного транспорта, хотя и в значительно меньших масштабах, протекал в Германии, Англии и Франции. За период с 1890 по 1900 г. в Германии паровозный парк увеличился на 40%, вагонный — на 47% [7, с. 232].

В России железнодорожный транспорт развивался ускоренными темпами, обусловленными экономическим подъемом 90-х годов XIX в. В 1900 г. в России действовало 16 металлургических предприятий в пяти промышленных районах страны, выпускавших стальные рельсы. Все заводы, кроме одного, изготавливали рельсы из отечественной стали и полностью удовлетворяли в этой продукции потребность отечественного железнодорожного транспорта. В 1900 г. выделка рельсов на отечественных заводах составила 33,2 млн. пудов. С 1891 г. в России была нарушена монополия на паровозостроение, которое в 80-х годах XIX в. существовало на одном лишь Коломенском заводе. В середине 90-х годов паровозостроение разветвляется на восемь крупнейших машиностроительных предприятий России — Коломенском, Брянском, Путиловском и др. Благодаря этому отечественные машиностроительные заводы почти полностью обеспечивали потребность железнодорожного транспорта в паровозах. Необходимо отметить, что импорт паровозов в Россию в 90-х годах не превышал 16%, или 826 штук из общего числа 5224 паровоза, введенных в это время в эксплуатацию. В 1900 г. отечественные заводы изготовили 1005 паровозов, в то время как в 1893 г. только 206 [7, с. 278—279].

Для характеристики прогресса в области железнодорожного транспорта в России приведем некоторые данные о развитии производства железнодорожных вагонов. В 90-х годах XIX в. вагоностроение в России было сосредоточено на 15 заводах (не считая многочисленных вагонных мастерских железных дорог), из которых 8 крупных предприятий возникли в середине 90-х годов. В 1899 г. отечественные заводы выпустили 25,9 тыс. товарных и 934 пассажирских вагонов, что полностью обеспечивало потребности железнодорожного транспорта (импорт сократился до 235 штук в год, включая специализированные пассажирские и трамвайные вагоны для конно-железных городских дорог) [7, с. 281—282].

⁴ Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 5, с. 82—83.

К концу 1900 г. на железных дорогах шести промышленно развитых стран — США, России, Австро-Венгрии, Германии, Франции и Англии эксплуатировали в общей сложности 107,3 тыс. паровозов и около 3,3 млн. товарных вагонов. Из этого количества на Россию приходилось: паровозов 11 161 штук (10,3%) и товарных вагонов 276 389 штук (8,4%) [7, с. 303].

В 1913 г. паровозный парк США, России, Германии, Англии и Франции составлял 141 тыс. паровозов и более 4,3 млн. товарных вагонов.

К концу 20-х годов производство паровозов и товарных вагонов продолжало расти, но темпы роста были незначительными ввиду начавшегося в 1929 г. экономического кризиса, потрясшего капиталистический мир.

Наиболее распространенными типами паровозов, применявшимися в 70-х годах XIX в. на железных дорогах Европы и Америки, были трех- и реже — четырехосные локомотивы.

Паровозы классифицировали на товарные, пассажирские и маневровые. Мощность паровозов составляла 300—400 л. с., вес в рабочем состоянии 32—37 т, конструкционная скорость товарных паровозов 40—45 км/ч, пассажирских до 80 км/ч.

На паровозах устанавливали горизонтальные цилиндрические котлы диаметром 1200—1400 мм со 160—180 дыггарными (обычно латунными) трубами. Плоскостенные, изготовлявшиеся из красной меди топки имели коробчатое сечение. Общая поверхность котлов составляла 85—133 м². Вода подавалась в котел двумя инжекторами. Максимальное давление пара в котлах колебалось от 8 до 10 ат. На раме паровоза устанавливали двухцилиндровую паровую машину одноступенчатого расширения. Чугунные паровые цилиндры диаметром 394—460 мм располагали (по одному) с каждой стороны рамы локомотива. Длина хода поршня составляла 553—620 мм. Золотники были плоские, коробчатого сечения, парораспределение — внутреннее. Диаметр колес товарных паровозов 1200—1418 мм, пассажирских 1520—1728 мм. Топливо и вода помещались на прицепных тендерах [6, с. 27].

Четырехосные паровозы обладали более высокой (по сравнению с трехосными) мощностью и позволяли значительно увеличить пропускную способность железнодорожных составов. Этот тип паровозов, созданный еще в 1846 г. Д. Стефенсоном [12], имел ряд конструктивных особенностей. Благодаря увеличению длины дыггарных труб была достигнута более полная утилизация тепла. Это привело к некоторому увеличению длины паровоза и к необходимости увеличения числа осей. В России первые четырехосные паровозы начали изготовлять еще в 1858 г. на Александровском заводе. В этом строительстве Россия занимала в то время лидирующее положение. Однако их производство вскоре прекратилось ввиду того, что многие железные дороги еще не могли их эффективно использовать. В России четырехосным паровозам большое внимание стали уделять в 70-х годах XIX в., как наиболее универсальному типу локомотива, который считался экономически целесообразным для всей сети железных дорог. Построенный в 1878 г. на Коломенском заводе четырехосный паровоз был назван «паровозом правительственного запаса», как имеющий оборонное значение. Четырехосные паровозы были на особом учете, и все железные дороги должны были располагать определенным числом этих локомотивов, заказывая их на русских заводах [6, с. 28].

В 1865 г. в США был построен шестисильный паровоз. Однако резкое повышение экономичности паровозов было достигнуто благодаря применению компаунд-машин, создающих двойное расширение пара. Они представляли паровые машины двойного действия, в которых пар, отработав в одном (меньшем) цилиндре, переходил затем в цилиндр большего диаметра.

Идея компаунда была предложена еще в 1850 г. машинистом Д. Николсоном. Однако даже построена нескольких образцов таких машин двумя годами позже не привела к массовому внедрению этой системы. Вновь к ней вернулись в 1876 г. по предложению А. Маллета. Эта система позволяла экономить до 25% топлива, повышала мощность двигателя. В 1888 г. в Англии был создан паровоз по системе дуплекс-компаунд, имевший две двухцилиндровые машины. На Парижской всемирной выставке 1889 г. экспонировалось до десяти видов компаундов [13, 14].

В России первая компаунд-машина была установлена на паровозе в 1882 г. в Киевских железнодорожных мастерских. Исследования технико-экономических показателей локомотивов, оснащенных компаунд-машинами, показали, что при работе на паровозе эта система дает до 20% экономии в расходе пара по сравнению с машиной однократного расширения. Большую роль в исследованиях сыграл основоположник русской школы паровозостроения инженер А. П. Бородин. С этого времени началось быстрое распространение в России локомотивов с компаунд-машинами [6, с. 29].

В 1896 г. в России на Владикавказской железной дороге был спроектирован шестисильный товарный паровоз с котлом, имевшим большую поверхность нагрева, и мощной компаунд-машиной. Паровозы такого типа в дальнейшем строились на других русских заводах.

В период наибольшего распространения компаунд-паровозов (1906—1909 гг.) некоторые заводы России, в том числе Коломенский и Луганский, выпускали локомотивы не только для отечественных железных дорог, но и экспортировали их в другие страны [6, с. 30].

К началу XX в. мощность паровозов по сравнению с 80-ми годами XIX в. возросла в 2,5 раза [7, с. 232].

Рост мощности паровозов сопровождался увеличением габаритов и конструктивного веса локомотивов. Вместе с тем повышение мощности ограничивалось максимально допустимым давлением на рельс. В процессе совершенствования паровозов перед их творцами постоянно стояла противоречивая и нелегкая проблема соблюдения оптимальных условий конструирования мощных локомотивов и надежности пути. Увеличение веса локомотивов требовало переустройства пути более тяжелыми рельсами, что было сопряжено с дополнительными капиталовложениями. Именно это вызвало необходимость снижения давления колеса на рельс в результате увеличения числа осей. Наибольшее давление от бандажей одной колесной пары на рельс в 70-х годах XIX в. составляло 12,6 т. В последующие годы, в том числе в первом десятилетии XX в., давление от осей на рельс колебалось в пределах 13—15 т. Для железных дорог с усиленным рельсовым полотном (как, например, Владикавказская дорога в России) давление от осей на рельс было повышено до 17 т.

Усовершенствования коснулись не только систем двигателей, самих паровозов и вагонов. Большое внимание уделялось и другим важным

вопросам, в том числе созданию надежных тормозных систем. Известно множество патентов на изобретения тормозов. Среди них заслуживает внимание первый патент на воздушный неавтоматический тормоз русского инженера Мартина (1859 г.), а также инженеров Путиловского завода Матвеева и Сазонова (1872 г.), создавших самодействующий механический тормоз. Здесь тормоза вагонов и паровоза были объединены в одну систему и при разрыве поезда включались автоматически [6, с. 37].

Однако всемирную известность получил тормоз системы американского изобретателя Д. Вестингауза (1869 г.), который стал быстро внедряться на железнодорожном транспорте после 1872 г., когда его действие было автоматизировано. В 1878 г. тормозом системы Вестингауза в России был оборудован первый пассажирский паровоз серии «К».

Однако идея создания автоматических тормозов в то время не оставляла многих ученых и изобретателей. Так, в России в 1897 г. инженером О. О. Липковским был предложен тормоз, длительные испытания которого на Николаевской железной дороге показали его преимущества перед тормозом системы Вестингауза (более прост конструктивно и расход воздуха на 60—70% меньше). Тормоз Липковского был применен в 1898 г. на железных дорогах во Франции. В 1900 г. жюри Всемирной Парижской выставки удостоило изобретателя тормоза двумя золотыми медалями [6, с. 37].

Значительное внимание уделялось разработке автоматической сцепки вагонов. В конце XIX — начале XX в. в ряде стран были запатентованы изобретения и проводились опытные работы, связанные с переходом с винтовой сцепки на автоматическую. В 1915 г. русский техник Ф. П. Гаранкин запатентовал в России, Франции и Англии оригинальную конструкцию автосцепки [45].

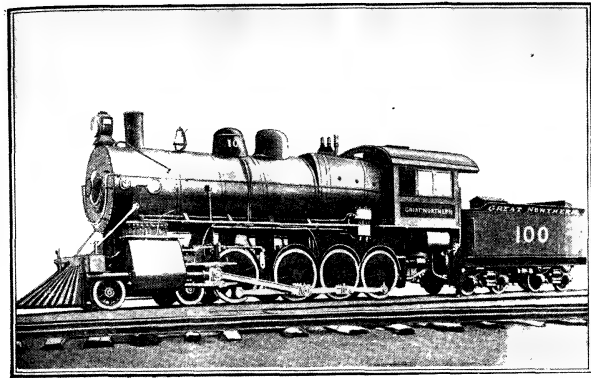
Делались попытки разработки и применения на железнодорожном транспорте реактивных двигателей. В 80-х годах Киевский инженер Ф. Р. Гешванд предложил использовать реактивную работу пара в железнодорожных паровозах [46].

Велись поиски более дешевого и эффективного топлива. В США к 70-м годам основным топливом паровозов вместо дров стал уголь. В Англии в 1888 г. Д. Холден испытал паровоз на смеси низкого сорта угля с нефтяными остатками. Однако найти какое-нибудь принципиально новое решение данной проблемы было уже невозможно, необходим был переход к принципиально новому двигателю.

Железнодорожное сообщение в конце XIX — начале XX в. вышло на рубежи, которые принципиально отличались от существовавших в середине века. Скорость поездов 1900 г. достигала 100 км/ч и более, составы весили сотни тонн, следовательно, можно сказать, что паровозостроение уже достигло своего высшего технического развития.

Железнодорожный транспорт, зарождение и развитие которого было вызвано потребностями крупной промышленности и капиталистической торговли, в свою очередь, оказал глубокое влияние на развитие капитализма. Он способствовал росту крупной индустрии, концентрации производства и капитала, увеличению числа монополий. Развитие железнодорожного транспорта отразило все основные противоречия империализма.

В. И. Ленин отмечал, что «постройка железной дороги кажется простым, естественным, демократическим, кулуарным, цивилизаторским предприя-



Американский локомотив (1898 г.)

тием: такова она в глазах буржуазных профессоров, которым платят за подкрашивание капиталистического рабства, и в глазах мелкобуржуазных филантропов. На деле капиталистические нити, тысячами сетей связывающие эти предприятия с частной собственностью на средства производства вообще, превратили эту постройку в орудие угнетения *миллиарда* людей (колонии плюс полуколонии), т. е. большие половины населения земли в зависимых странах и наемных рабов капитала в «цивилизованных» странах»⁸.

2. НАЧАЛО ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ. У ИСТОКОВ ТЕПЛОВОЗСТРОЕНИЯ

Научные открытия и изобретения явились не только основополагающим фактором совершенствования традиционной техники парового транспорта, но, что наиболее примечательно, они создавали предпосылки для формирования принципиально новых транспортных средств.

В рассматриваемый период паровоз в своем конструктивном решении достиг почти предела. Несмотря на попытки ученых и конструкторов повысить экономичность локомотива, его КПД был низким и не превышал 3—4%.

⁸ Ленин В. И. Там же, т. 27, с. 304—305.

Это стимулировало исследовательские и конструкторские работы в области создания принципиально новых средств тяги. Уже в последней четверти XIX в. обозначились контуры новых направлений локомотивостроения — электровозо- и тепловозостроение.

На возможность применения электрической тяги на железных дорогах указывал еще в 1874 г. в заявке на привилегию русский специалист Ф. А. Пироцкий. В 1875—1876 гг. он проводил опыты на Сестрорецкой железной дороге по передаче электроэнергии по изолированным от земли рельсам. Передача осуществлялась на расстояние около 1 км. В качестве обратного провода был использован второй рельс. Электроэнергия передавалась маленькому двигателю. В августе 1876 г. Ф. А. Пироцкий поместил в «Инженерном журнале» статью с результатами своих работ. Эти опыты навели его на мысль использовать электроэнергию для вагонеток, движущихся по металлическим рельсам [17, с. 17—19; 18, с. 28, 29].

Практическая реализация идеи использования электрической энергии на транспорте принадлежит В. Сименсу (Германия), построившему первую электрическую железную дорогу, экспонировавшуюся на Берлинской промышленной выставке в 1879 г. Она представляла маленькую узкоколейную дорогу, предназначавшуюся для прогулок посетителей выставки. Короткий поезд из открытых вагончиков приводился в движение электровозом с двумя моторами, которые получали постоянный ток напряжением 150 В от железной полосы, уложенной между рельсами. Обратным проводом служил один из ходовых рельсов.

В 1881 г. В. Сименс построил пробный участок электрической дороги в пригороде Берлина Лихтерфельде, впервые применив мотор-вагон. Ток напряжением 180 В подводился к одному из ходовых рельсов, а другой рельс служил обратным проводом [19, с. 7].

Во избежание больших потерь электроэнергии, которые возникали из-за плохой изолирующей способности деревянных шпал, В. Сименс решил изменить электрическую схему питания электродвигателя. Для этого на электрической дороге, построенной в том же 1881 г. на Всемирной Парижской выставке, был применен подвесной рабочий провод. Он представлял железную трубку, подвешенную над рельсами. Нижняя часть трубки была снабжена продольным прорезом. Внутри трубки ходил членичок, соединенный через прорез с гибким проводом, который прикреплялся к крыше локомотива и передавал электрический ток электродвигателю. Такая же трубка, подвешенная рядом с первой, служила обратным проводом. Подобная система была применена на построенных в 1883—1884 гг. пригородных трамваях Мэдлинг—Фордербольд в Австрии и Франкфурт—Оффенбах в Германии, работавших при напряжении 350 В. Примерно в это же время в Кинреше (Ирландия) на трамвайной линии была применена проводка тока по третьему рельсу, который устанавливали на изоляторах рядом с ходовыми рельсами. Однако эта система оказалась совершенно неприемлемой в условиях города, мешая движению экипажей и пешеходов [19, с. 7—8].

Интересно отметить, что техническую обреченность такой системы подачи электрического тока мотору предвидел ранее Ф. А. Пироцкий, который писал в 1880 г. в газете «С.-Петербургские ведомости»: «Построенная мною электрическая железная дорога есть простейшая и дешевейшая. Она не требует затрат на среднюю рельсовую линию, напрасно увеличи-



Электрическая железная дорога В. Сименса на Берлинской промышленной выставке 1879 г.

вающую стоимость дороги на 5% и прекращающую экипажное движение в городе. Она не требует затрат и на чугунные столбы, стоящие чрезмерно дорого» [17, с. 35].

Это письмо было опубликовано Пироцким в связи с появившимися в печати сообщениями о результатах проведенных им 3 сентября 1880 г. в Петербурге испытаний электрического трамвая. В это время Ф. А. Пироцкий усиленно занимался реализацией своих проектов, связанных с созданием надежного городского электрического транспорта. Он понимал, что развитие магистрального железнодорожного электрического транспорта невозможно без решения коренной проблемы электротехники — осуществления передачи электроэнергии на дальние расстояния. Учитывая это, Ф. А. Пироцкий сконцентрировал свое внимание на опытах электродвижения вагона, принятого на городских конно-железных дорогах. В результате ему удалось в 1880 г. впервые осуществить движение по рельсам настоящего двухъярусного моторного вагона. Результаты своей работы Ф. А. Пироцкий представил в 1881 г. на Международную электрическую выставку в Париже, где экспонировал свою схему электрической железной дороги.

В 1884 г. в Брайтоне (Англия) была построена по схеме Пироцкого электрическая железная дорога с питанием от одного из рельсов протяженностью 7 верст. Эксплуатация только одного вагона дала чистой прибыли, по сравнению с конной тягой 420 франков в день [17, с. 35—38].

С середины 80-х годов XIX в. развитием электрической тяги на же-

лезных дорогах начинают усиленно заниматься американские инженеры и предприниматели, которые энергично принялись за усовершенствование электрических локомотивов, а также способов подвозки топлива.

Над проблемой электрического железнодорожного транспорта работал в США Т. А. Эдисон, построивший за период с 1880 по 1884 г. три небольшие опытные линии. В 1880 г. он создал электровоз, который по своему внешнему виду напоминал паровоз. Электровоз питался электрическим током от путевых рельсов, один из которых был подключен к положительному, а другой к отрицательному полюсу генератора. В 1883 г. Т. А. Эдисон совместно с С. Д. Филдом построил более совершенный электровоз («The Judges»), экспонировавшийся на выставке в Чикаго и позже в Луизвилле.

К 1883 г. относятся работы американского инженера Л. Дафта, создавшего первый магистральный электровоз («Amper») для стандартной колеи, предназначенный для железной дороги Саратога—Ман-Грегор. В 1885 г. Дафт построил улучшенную модель электровоза для Нью-Йоркской эстакадной железной дороги. Локомотив, названный «Benjamin Franklin», весил 10 т, имел длину более 4 м и был снабжен четырьмя ведущими колесами. Электрический ток напряжением 250 В подавался по третьему рельсу к мотору мощностью 125 л. с., который мог тянуть состав из восьми вагонов со скоростью 10 миль в час (16 км/ч).

В 1884 г. швейцарский инженер Р. Тори построил экспериментальную железную дорогу с зубчатым зацеплением, соединив с ее помощью находящуюся на горном склоне гостиницу с местечком Терри (недалеко от Монтре на Женевском озере). Локомотив имел четыре ведущих колеса и перемещался по весьма крутому наклону (1 : 33). Его мощность была небольшой и позволяла перевозить одновременно четырех пассажиров. На спуске в процессе торможения мотор работал как генератор, возвращая электрическую энергию в сеть.

В течение ряда лет инженерная мысль неустанно работала над совершенствованием техники подачи тока к электровозу [19^а].

В 1884 г. в Кливленде Бентли и Найт построили трамвай с подземным проводом. Аналогичная система была введена в 1889 г. в Будапеште. Этот способ электропитания оказался неудобным в эксплуатации, так как желоб быстро загрязнялся.

В конце 1884 г. в Канзас-Сити (США) Генри испытал систему с медными воздушными проводами, из которых один был прямой, другой — обратный.

К 1885 г. относится постройка бельгийским специалистом Ван-Депулем в Торонто (Канада) первого трамвая с одним воздушным рабочим проводом. В его схеме обратным проводом служили ходовые рельсы. Вдоль линии соорудили столбы с консолями, к которым прикрепляли изоляторы с рабочим проводом. Контакт с рабочим проводом осуществлялся с помощью металлического ролика, посаженного на штангу трамвая, который во время движения «катился» по проводу. Эта система подвески оказалась очень рациональной, после дальнейшего совершенствования была принята во многих других странах и вскоре получила всеобщее распространение. К 1890 г. в США находилось в эксплуатации около 2500 км электрических дорог трамвайного типа, а к 1897 г. 25 тыс. км. Электрический трамвай стал вытеснять старые виды городского транспорта.

В 1890 г. воздушный провод появился впервые в Европе на трамвайной линии в Галле (Пруссия). С 1893 г. электрические железные дороги в Европе развиваются ускоренными темпами, в результате чего уже к 1900 г. их протяженность достигла 10 тыс. км [19, с. 8].

В 1890 г. электрическая тяга была применена на выстроенной подземной лондонской дороге. Электрический ток напряжением 500 В подавался на электродвигатель с помощью третьего рельса. Эта система оказалась очень удачной для дорог с самостоятельным полотном и начала быстро распространяться в других странах. Одно из ее достоинств — возможность электрификации дорог с очень большим расходом электроэнергии, к которым относились метрополитены и магистральные железные дороги.

В 1896 г. электрическая тяга с использованием токоведущего третьего рельса была впервые введена на участке железнодорожной магистрали Балтимор—Охай. Электрификация коснулась отрезка дороги на подходе к Балтимору длиной 7 км. На этом участке пути был проложен 2,5-километровый тоннель, побудивший строителей электрифицировать его. Электровозы, работавшие на этом участке, получали электрическую энергию от третьего рельса при напряжении 600 В.

Первые электрифицированные железные дороги по своей протяженности были небольшими. Строительство железных дорог большой протяженности наталкивалось на трудности, связанные с большими потерями энергии, которые вызывает передача постоянного тока на длительные расстояния. С появлением в 80-х годах трансформаторов переменного тока, дающих возможность передавать ток на большие расстояния, они были введены в схемы питания электроэнергией железнодорожных магистралей.

С введением трансформаторов в систему энергоснабжения образовалась так называемая система трехфазно-постоянного тока, или, иначе, «система постоянного тока с трехфазной передачей силы». Центральная электрическая станция вырабатывала трехфазный ток. Он трансформировался на высокое напряжение (от 5 до 15 тыс. В, а в 20-х годах — до 120 тыс. В), который подавалось к соответствующим участкам линии. На каждом из них имелась своя понижающая подстанция, от которой переменный ток направлялся к электромотору переменного тока, посаженному на один вал с генератором постоянного тока. От него питался электроэнергией рабочий провод. В 1898 г. значительная по протяженности железная дорога с самостоятельным полотном и с трехфазной системой тока была сооружена в Швейцарии и соединяла Фрейбург—Муртен—Илс. Вслед за ней последовала электрификация и ряда других участков железнодорожных магистралей и метрополитенов.

К 1905 г. электрическая тяга полностью вытеснила паровую на подземных дорогах.

В середине 90-х годов произошли важнейшие качественные изменения, связанные с использованием на железнодорожном транспорте электродвигателей трехфазного тока. В результате упростилась вся система передачи и отпала необходимость в дорожных и требующих постоянного внимания мотор-генераторах или уфмормерах.

Первые системы трехфазного тока были введены на трамвайной линии в Лугано (Швейцария), построенной в 1895 г. Вслед за ней последовала электрификация ряда небольших горных дорог в Швейцарии. В 1901 г. железная дорога на трехфазном токе начала успешно функционировать

в Италии (Вальтеллинская дорога). В результате проведенных в Пруссии (1902—1903 гг.) знаменитых посевных опытов с системой трехфазного тока была достигнута скорость мотор-вагона 200 км/ч [19, с. 10, 11].

Вплоть до 20-х годов текущего столетия во многих странах усиленно велись исследования, связанные с разработкой наиболее оптимальных электрических схем питания железных дорог электрическим током. Наряду с этим большое внимание уделялось непрерывному совершенствованию деталей и узлов электровозов, системам подвески и установок токо-съемных проводов и т. п. В результате возросла мощность моторов, повысились их технико-экономические показатели. Большое значение имели усовершенствования в системе управления электровозами. В 1897 г. американский специалист Спрэг предложил систему управления, названную «системой многочисленных единиц» или «системой объединенного управления». Предложение сводилось к следующему. Все локомотивы поезда (их может быть несколько), как бы они ни располагались, взаимно соединяются электрической схемой, что позволяет водителю (машинисту) переднего локомотива управлять остальными локомотивами. Образуется своего рода единая система, как бы один локомотив со многими моторами. Система объединенного управления позволяла также формировать состав и из одних моторных вагонов, которые работают в одинаковых режимах и управляются одним машинистом. Это замечательное новшество способствовало быстрому прогрессу мотор-вагонной тяги, ускорило электрификацию метрополитенов и пригородных участков магистралей [19, с. 15].

В особом ряду стоят локомотивы с «автономной электрической тягой». К ним относятся локомотивы, на которых в качестве энергоносителя начали устанавливать аккумуляторы электрической энергии. Такие локомотивы впервые стали применять на городских трамваях Берлина и Гамбурга в 1885 г. В начале 90-х годов XIX в. после значительных усовершенствований аккумуляторы оснащенные ими электровозы получили распространение в Европе. Однако после 1894 г. их стали вытеснять быстро распространившиеся электровозы, получающие питание электрической энергией от контактных проводов. К достоинствам локомотивов с аккумуляторным энергоносителем необходимо отнести плавность хода, способность допускать перегрузку, удобное регулирование, бесшумность и бездымность [19, с. 16].

Интересная работа по использованию аккумуляторов электрического тока на железнодорожном транспорте была проведена в 1920 г. в нашей стране инженером И. И. Махониным. Примечательным в его новшестве было использование для приведения в движение железнодорожного состава очень мощных по тому времени аккумуляторных батарей и попытки применить аккумуляторную тягу для эксплуатации поездов на большие расстояния. И. И. Махонин задумал целью организовать движение аккумуляторных электропоездов между Петроградом и Москвой. Это было смелое решение⁶.

Все работы по оборудованию первого электропоезда выполнялись на Балтийском судостроительном и механическом заводе в Петрограде. Три

⁶ Материалы о создании первого в нашей стране электропоезда с аккумуляторными энергоносителями подготовлены по документам Центрального государственного архива народного хозяйства СССР (ЦГАНХ СССР) с. науч. сотр. архива М. А. Ваклейнином.

моторных вагона были построены ранее на Мытищинском заводе и служили в качестве керосино-электрических автомотрис (вагоны с дизельными двигателями), работавших на некоторых участках бывшей Николаевской (ныне Октябрьской) железной дороги.

30 сентября 1920 г. поезд успешно совершил первый пробный рейс из Петрограда в Любань, пройдя расстояние 155 верст.

Из Петрограда в Москву поезд стартовал 12 октября 1920 г. Он состоял из четырех пассажирских вагонов (из которых три были моторные) и трех приспособленных тендеров с батареями. На каждом моторном вагоне было установлено по два электродвигателя закрытого типа постоянного тока («И-109») напряжением 500 В, часовой мощностью каждый 110 л.с. при 600 об/мин.

Аккумуляторная батарея (типа устанавливаемых на подводных лодках) состояла из 264 элементов размером 305 × 500 × 1090 мм, емкостью около 7500 А·ч при 12-часовом разряде. Полный вес батарей в рабочем состоянии составлял около 120 т. Вес (брутто) всего поезда при минимальном составе в 24 оси был равен около 340 т, причем наибольшая нагрузка на ось тендерных ходов не превышала 16 т*.

Управление поездом было устроено по системе «Мультипли» и сосредоточено в двух крайних моторных вагонах, работавших самостоятельно в зависимости от направления поезда. Для получения различных скоростей движения и соответствующего изменения усилий тяги при напряжении батарей 500 В и переключении на 250 В предусматривалось пять способов включения электродвигателей посредством пусковых реостатов.

Расстояние 650 км поезд прошел за 15 ч 55 мин. Время чистого хода 12 ч 5 мин. Состав шел со средней скоростью около 54 км/ч. Отмечалось, что затяжной Веребьинский подъем 0,006 на протяжении свыше 20 км был пройден составом без всяких затруднений при одновременной работе 6 параллельно включенных моторов.

В обратный путь поезд отправился 17 октября. Состав был увеличен на перегоне Москва — Крюково на два пулямоновских вагона и вес поезда достиг 460 т (35 осей). После Крюково один вагон был отцеплен и вес поезда составил 410 т. Обратный путь поезд прошел за 19 ч 15 мин при чистом ходовом времени 13 ч 25 мин.

Аккумуляторные батареи после прогона Петроград — Москва были почти совершенно разряжены. В Петрограде и Москве их заряжали от трамвайной подстанции в течение 16—18 ч.

После прибытия поезда в Москву, 17 октября при ВСНХ состоялось совещание «Об электропоезде системы Махонины», на котором присутствовали члены президиума ВСНХ, ответственные сотрудники заинтересованных ведомств Москвы и Петрограда и около 20 московских и петроградских инженеров⁷. Совещание отметило: «Испытание электропоезда и организацию самой постройки экспериментального агрегата, изготовленного не из специальных материалов, а на основе утилизации, признать весьма удачными».

Редакция журнала «Известия Электротреста» «ввиду интереса, вызванного опытами с аккумуляторным электропоездом...» поместила в декабре

* Из Петрограда поезд шел в увеличенном составе — в 27 осей.

⁷ ЦГАНХ СССР, ф. 3429, оп. 1, д. 1391, лл. 32, 32 об.

ском номере 1920 г. статью Н. П. Акимова, начальника тяги Николаевской железной дороги [20]. Автор писал: «...следует считать совершенно бесспорным, что первый аккумуляторный электропоезд, даже в современной его конструкции, окажет весьма существенную пользу для изучения электрической поездной тяги...» и опыт его эксплуатации «несомненно будет влиять на решение многих вопросов по предстоящей электрификации железных дорог, особенно потому, что до сего времени не имеется экспериментальных данных по многим вопросам электрической тяги в условиях действительной работы русских железных дорог»⁸.

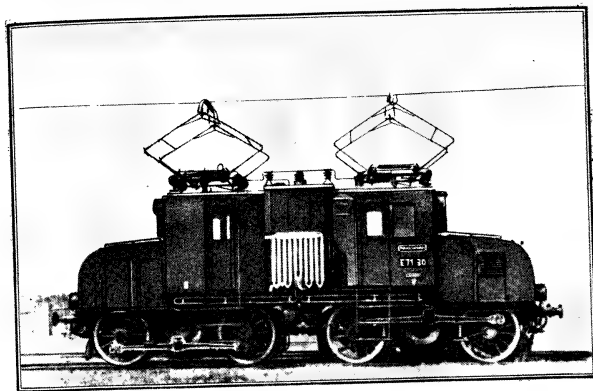
Тщательное исследование результатов работ И. И. Махонина показало, что по ряду технико-экономических показателей эксплуатации поезда с автономной аккумуляторной электрической тягой значительно уступают электропоездам, работающим от стационарной контактной сети. По данным профессора П. С. Осадчего, расход нефти на зарядку аккумуляторных батарей электропоезда от паровой электрической установки составляет 250—300 пуд., а от дизельной — вдвое меньше. Расход нефти в паровозе, ведущем из Петрограда в Москву поезд того же состава, что и электропоезд, по тем же подсчетам не должен превышать 310—320 пуд.⁹. Для аккумуляторных батарей, установленных на электропоезде, гарантирована исправная работа на 250 зарядов и разрядов, или 125 поездок туда и обратно. После 250 разрядов батарея требует ремонта и постепенной замены элементов. Стоимость одной такой батареи по довоенным ценам 180 тыс. руб., а паровоза сопоставимой мощности — 70 тыс. руб.

Специфические особенности электрической тяги привлекли к электровозам внимание горнопромышленных предприятий и фирм. В 1882 г. фирмой «Siemens & Halske» был построен первый рудничный электровоз. Один из электровозов, построенных в 1896 г., эксплуатировался успешно до 1913 г.

В 1893 г. американская фирма Всеобщая компания электричества («С»АЕG») соорудила четырехосный электровоз весом 30 т и мощностью 240 л. с. Немецкая фирма «Brown, Boveri & C^o» выпустила электровозы мощностью 900 л. с. В 1906 г. три таких электровоза работали на проводке поездов через Симплонский тоннель. Электровоз имел два мотора трехфазного тока, работающих при напряжении 3300 В. Моторы передавали движение трем ведущим осям электровоза. Они были непосредственно связаны со средней осью, от которой с помощью кривошипов и шатунов вращение передавалось двум другим осям. Диаметр ведущих колес 1640 мм. Общий вес электровоза 62 т, из них электрическая часть весила 28 т, механическая 34 т. Электровоз развивал скорость от 34 до 68 км/ч. Сила тяги при тихом ходе 6000 кг, а при повышенных скоростях 3500 кг. Вес поездов, обслуживаемых электровозами фирмы «Brown, Boveri & C^o», составлял для пассажирских составов до 365 т, товарных 465 т. В 1907 г. в США фирма «Westinghouse Electric» построила электровоз мощностью 960 л. с. В 1909 г. на железных дорогах Италии работало до 180 электровозов трехфазного тока. В период первой мировой войны создают сверхмощные электровозы весом до 275 т [21].

⁸ ЦГАНХ СССР, ф. 3429, оп. 7, д. 737, лл. 5, 6.

⁹ ЦГАНХ СССР, ф. 4372, оп. 1, д. 14, л. 38, 38 об.



Первый серийный электровоз марки Е-71 (Германия, 1914 г.)

Среди конструкций железнодорожных локомотивов, появившихся в период интенсивного распространения электровозов, необходимо упомянуть о парозлектровозе, построенном в 1894 г. во Франции Эльманом. Конструктор создал локомотив, обладающий высокой скоростью и плавностью хода. Парозлектровоз приводился в действие от электромоторов, получающих ток от установленной на нем же динамомашин, которой, в свою очередь, передавала движение паровая машина. Ввиду огромного конструктивного веса машины она не получила распространения.

Идея Эльмана была осуществлена лишь после появления двигателя внутреннего сгорания. В период между 1900 и 1909 гг. велись работы по созданию «бензо-электрической» тяги.

Двигателем внутреннего сгорания конструкторы железнодорожных локомотивов заинтересовались еще в 80-х годах XIX в. и применяли его для изготовления автодрезин и мотовозов. Один из мотовозов мощностью 4 л. с. был построен Даймлером в 1888 г. в Штуттгарте (Германия) для внутривозвской транспортировки составов вагонок.

В результате внедрения двигателя внутреннего сгорания на железнодорожном транспорте начало формироваться новое направление в развитии локомотива — тепловозостроение. По характеру передачи вращающего момента от вала двигателя внутреннего сгорания движущим осям локомотива можно отметить две группы передачи: первая, когда вал двигателя внутреннего сгорания жестко связан с ведущими осями локомотива, а вторая, когда вал двигателя соединен с осями локомотива через систему передачи.

Тепловозы с электрической системой передачи благодаря своим более высоким эксплуатационным преимуществам в последующие годы находились в поле зрения конструкторов и изобретателей.

Значительный вклад в развитие тепловозостроения внесли отечественные ученые и специалисты. В 1905 г. инженер Н. Г. Кузнецов и полковник А. И. Одинцов разработали, вероятно, первый в мире проект локомотива, который стал прообразом современных тепловозов с электрической передачей. Изобретатели предусмотрели в своем проекте две индивидуальные дизель-генераторные установки. Каждая установка состояла из судового вертикального двигателя мощностью 180 л. с. и генератора трехфазного тока.

Каждая из четырех осей тепловоза (кузов и рама покоились на двух двухосных тележках) приводилась в движение самостоятельным электродвигателем.

В 1909 г. на Коломенском заводе разработали проект тепловоза с электрической передачей. Энергетическая установка состояла из двух трехцилиндровых дизелей общей мощностью 1 тыс. л. с., которые приводили в движение один генератор, расположенный между ними. Ток подавался к четырем электродвигателям тепловоза, опорой кузова которого служили две четырехосные тележки [6, с. 43].

В период с 1905 по 1920 г. были в основном завершены проектно-конструкторские работы, связанные с созданием мощного тепловоза с электрической системой передачи. В 20-е годы тепловозы вышли на железнодорожные магистрали ряда стран мира, в том числе и в СССР.

Начало развитию в СССР тепловозостроения с электрической передачей было положено работами профессора Я. М. Гаккеля, разработавшего проект локомотива в 1920—1921 гг. Для рассмотрения проекта при Госплане была создана Комиссия по тепловозам, преобразованная затем в Комиссию по тепловозам при ВСНХ. 4 января 1922 г. Совет Труда и Оборона принял постановление о постройке тепловозов. В 1924 г. тепловоз по проекту Я. М. Гаккеля был построен. Это был один из первых в мире крупных работоспособных тепловозов, мощностью около 1 тыс. л. с. В ноябре 1924 г. тепловоз системы Я. М. Гаккеля совершил опытный рейс от Ленинграда до Обухово Октябрьской железной дороги, а 16 января 1925 г. привел грузовой состав в Москву [22, с. 237—238].

Постройка тепловоза, финансировавшаяся ВСНХ, велась на четырех петроградских заводах: Балтийском судостроительном, «Электросиле», «Красном путиловце», «Электрике» [22, с. 238].

В это время строительство тепловозов началось в Германии, Англии, Швеции и в ряде других стран.

3. РАЗВИТИЕ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

В рассматриваемый период произошли коренные изменения и в развитии водного транспорта. Они были связаны в первую очередь с увеличением технико-экономических показателей судов. Правда, двигатели парохода и паровоза середины XIX в. не отличались существенно от двигателя Уатта, конструкции гребных колес и винтов не изменились, суда строили в значительной мере по образу и подобию парусных судов,

да и снабжали их, кроме парового двигателя, еще и парусным оснащением. Технические идеи, воплощенные в паровых средствах транспорта середины XIX в., в целом давали удовлетворительные результаты, но необходимо было найти более надежные и, главное, более экономичные и технические совершенные решения отдельных проблем, которые возникали при эксплуатации транспортных средств.

К последней четверти XIX в. паровой двигатель для морских судов уже по сути исчерпал возможности принципиального совершенствования. Дальнейшее развитие морского флота стало зависеть от внедрения принципиально новых видов двигателей. Кроме того, переход к использованию гребного винта в качестве основного движителя корабля поставил проблему совершенствования двигателя. Паровой двигатель, имевший прямолинейное движение рабочего штока, требовал специального механизма перевода такого движения во вращательное, что снижало коэффициент полезного действия. Двигатель типа турбины внес революционное изменение во всю систему «двигатель — движитель — корабль». Это объясняется тем, что возрастание скоростей вращения винта требует перестройки форм движителя, а изменение формы винта в совокупности с увеличением скорости вращения вызывает рост скорости судна, что приводит к существенной модернизации всей конструкции кораблей.

Первые попытки использовать турбину как двигатель для водного транспорта окупались частично или полностью неудачей (Д. Степанов, О. Эванс, Р. Тревинти). Относительный успех был достигнут в 1846 г. Созданная специально для пудл флота турбина Д. Кордеса и Э. Лока (Англия) прошла испытания, но практически использована не была.

Большой интерес представляют работы русского изобретателя П. Д. Кузьминского, который в 1887—1892 гг. сконструировал и построил газовую реверсивную турбину радиального типа с 10 ступенями давления. Она должна была работать на парогазовой смеси. Для ее получения изобретатель предложил специальную камеру сгорания — «газовую пародор». Из-за смерти П. Д. Кузьминского испытания турбины не были закончены [23].

В 1884 г. идею использования турбины как основного двигателя судна попытался реализовать Ч. Парсонс, однако первый опыт не увенчался успехом из-за проявления эффекта кавитации, до того не встречавшегося. Кавитация полностью уничтожила выгоды от увеличения скорости вращения винта. Для ликвидации возникшего затруднения необходимо было усовершенствовать винт. Парсонс провел серию опытов с целью установить причину неэффективности старых форм винтов. В 1897 г. Парсонс добился успеха. Его судно, названное «Турбинией», водоизмещением 44 т развивало скорость 34,5 узла [24, с. 151]. Укажем, что скощением «Великого Восточного», построенного в 1858 г. и являвшегося выростом судном своего времени, была более чем вдвое меньше. В паровых турбинах применяют пар высоких параметров — давление до 45 ат и температура до 470° С. Недостаток турбин — отсутствие реверса, что требует установки дополнительных турбин обратного хода. В начале XX в. турбины получили широкое распространение на быстроходных, особенно военных, судах. В России первым турбинным судном была яхта «Ласточка» (1904 г.) с мощностью турбоустановки 2 тыс. л. с.

Почти одновременно с внедрением турбин в качестве судовых двигателей началось использование и двигателей внутреннего сгорания. Первые двигатели такого типа, примененные на малых судах в 70-х годах XIX в. (система Лемуара), обладали малой мощностью и были неэкономичны. Ситуация изменилась с появлением дизельных двигателей, особенно с переходом на использование дешевого низкооктанового топлива. Малые габариты дизельных двигателей (по сравнению с паровыми), меньший расход топлива на производство той же работы, уменьшение числа обслуживающего персонала, отсутствие золы и дыма говорили в пользу перехода на двигатели внутреннего сгорания. Однако в рассматриваемый период эти двигатели еще не получили широкого распространения. Первые экземпляры дизелей не имели реверса и плохо работали в разных режимах, например при необходимости снижения скорости и т. п. Для ликвидации этих недостатков ходовую установку усложняли, вводя дублирующий реверсный двигатель или промежуточную передачу (электрическую, механическую, гидравлическую).

Несмотря на то что у наиболее совершенных конструкций КИД передача был довольно высоким (до 98% для механической передачи), эффективность новых типов двигателей снижалась и терялось такое преимущество, как компактность.

Первая судовая дизельная установка была построена в России на заводе «Русский дизель» в 1904 г. [25]. Ею оснастили самоходную баржу «Вандал» грузоподъемностью 820 т. На «Вандале» установили три дизельных двигателя по 120 л. с. каждый. Баржа развивала скорость до 7,4 узла. Усилие передавалось на гребной вал через электрическую систему. Выявившиеся недостатки этой системы требовали существенной ее модернизации.

В 1904 г. на том же заводе была построена новая дизельная установка системы Дель Пропосто. Для реверса и маневрирования использовали электрическое регулирование, а для крейсерского хода включали прямую связь дизеля с рабочим валом. Двигатель был установлен в 1905 г. на судне «Сармат» общества бар. Нобель. Позже использовали и другие системы передач. Проблема была решена в 1908 г. при использовании реверсивного четырехтактного дизеля, построенного впервые в мире на петербургском заводе Л. Нобеля. Такими двигателями мощностью 120 л. с. были оснащены подводная лодка «Минога», затем канонерские лодки «Карс» и «Ардаган».

Успешная эксплуатация двигателей внутреннего сгорания на небольших судах повлекла за собой строительство крупных морских судов с такими двигателями. Первенцем был теплоход «Дело» грузоподъемностью 5 тыс. т, оснащенный двумя дизельными двигателями мощностью 1 тыс. л. с. Скорость судна достигала 9,5 узла (Россия). В Дании первый теплоход «Зеландия» был построен лишь в 1912 г. Всего к 1913 г. было построено 80 теплоходов, из них 70 — в России. Россия была лидером внедрения двигателей внутреннего сгорания на флоте.

В последней трети XIX и начале XX в. был совершен большой сдвиг в проектировании корпусов кораблей. Совершенствовались не только форма судна, но вводились весьма важные конструктивные элементы, обеспечивавшие безопасность кораблей. Переход к металлу как основному строительному материалу в судостроении вызвал необходимость

повысить внимание к непотопляемости корабля. Повреждение металлического корпуса огромного корабля могло привести к существенному изменению центра тяжести и к потере плавучести.

Адмирал русского флота С. О. Макаров предложил разделить судно на ряд отсеков водонепроницаемыми переборками, причем при повреждении обшивки корабля и заполнении отсека с одной стороны соответствующий отсек с другой стороны тоже мог быть затоплен водой, что позволяло избежать крена и дифферента корабля. Работа в этом направлении была начата в 1875 г., но до логического завершения доведена академиком А. Н. Крыловым, который в 1902 г. разработал таблицы непотопляемости корабля, введенные в русский флот в 1905 г. и в английском в 1926 г. А. Н. Крылов внес выдающийся вклад в теорию судостроения, разработав также теорию использования гироскопов для успокоения качки судна и другие теоретические вопросы [26, 27].

В этот период получили распространение новые типы судов — ледоколы, предназначенные для плавания во льдах. Потребность в таких судах особенно остро ощущалась в России. «Простой взгляд на карту России, — писал один из зачинателей русского ледокольного флота С. О. Макаров, — показывает, что она своим главным фасадом выходит на Ледовитый океан.... Мощный ледокол откроет дверь в этом главном фасаде, он снимет ледяные ставни с окна, которое Петр I прорубил в Европу...» [28, с. 389].

Первый ледокол современного типа «Пайлот» был построен в России. С 1864 г. он стал совершать регулярные рейсы между Кронштадтом и Ораниенбаумом, разламывая лед для прохода других судов. По чертежам «Пайлота» начали строить ледоколы и в других странах. По идее и при непосредственном наблюдении С. О. Макарова в 1899 г. на верфях Ньюкаста был построен самый мощный для того времени ледокол «Ермак» (длина 97,56 м, ширина 21,64 м, водоизмещение 3,7 тыс. т, мощность двигателей 9,4 тыс. л. с.). Удачный замысел и конструкторские решения были затем использованы при строительстве других ледоколов в России и в других странах [29]. В 1916 г. был построен ледокол, который впоследствии получил имя «Красин». Ледоколы начали использоваться для изучения Ледовитого океана. Так, например, в 1910—1915 гг. в Арктике работала русская экспедиция на ледоколах «Таймыр» и «Вайгач» (построены в Петербурге в 1909 г.). Ею открыты новые острова, в том числе архипелаг Северная Земля [30].

На мореходство и даже структуру морского флота существенно повлияло строительство каналов между морями, океанами и проливами в конце XIX и начале XX в. Впервые канал такого рода был построен в 1784 г. в Дании. Он соединял Кильский залив и Верхне-Эйдерское озеро, что давало возможность проплыть по реке и каналу из Балтики в Северное море. В 1895 г. в том же районе был построен Кильский канал (Германия) длиной 95 км. Он позволял не только спрямить путь из Балтики в Северное море, но и миновать опасные проливы Скагеррак и Каттегат. Канал был построен главным образом в военно-стратегических целях.

Эффективность Кильского канала была очень существенной, что наглядно иллюстрируется приведенными ниже данными о расстояниях от Кила в различных направлениях (в морских милях) [31, с. 268]:

Конечный пункт	По каналу	Через проливы	Сокращение пути	Конечный пункт	По каналу	Через проливы	Сокращение пути
Гамбург	221	646	425	Дюнкерк	561	800	239
Эмден	346	629	283	Лондон	591	830	239
Амстердам	450	687	237	Гуэлл	536	717	181
Готтердам	479	716	237	Ньюкасл	591	698	107

Огромное значение для торговли и развития экономических связей Европы с Индией, Дальним Востоком и Африкой имел Суэцкий канал, открытый в 1869 г. и являвшийся в техническом отношении величайшим сооружением века. Его строили около 10 лет по тем местам, где когда-то (еще во времена фараонов) существовало аналогичное водное сооружение. Канал, соединивший Средиземное и Красное моря, имел общую длину 173 км. Из них 161 км приходится на собственно канал, проходящий через Суэцкий перешеек между Порт-Саидом на севере и Суэзом на юге, и, кроме того, 9,2 км — на искусственные фарватеры на подходах к каналу, проложенные по дну Средиземного моря, и 3 км на фарватеры Суэцкого залива. Канал построен без плузов. Ширина Суэцкого канала по зеркалу воды 120—150 м, глубина по фарватеру 12—13 м.

История Суэцкого канала неразрывно связана с военно-политическим конфликтом, возникшим в 50-х годах XIX в. между Англией, Францией и Россией, пытавшимся установить свое влияние на Ближнем Востоке. В период начавшейся между англо-франко-турецкой коалицией и Россией Крымской войны (1853—1856 гг.) Англия и Франция добились важных концессий в Египте. Англия получила концессию на строительство железной дороги из Александрии в Суэц, а Франция — права на строительство Суэцкого канала.

Строительство канала возглавил генеральный консул Франции в Александрии Ф. Лессепс, организовавший акционерное общество «Всеобщая компания Суэцкого канала». Предприниматель Ф. Лессепс привлек к участию в компании тогдашнего правителя Египта М. Саид-пашу, который предоставил в ее распоряжение материальные и людские ресурсы своей страны. Деятельность «Всеобщей компании Суэцкого канала» носила хищнический характер. В ее распоряжение бесплатно были переданы земли, лежащие на трассе будущего канала, и египетские государственные каменоломни. Египетское правительство обязалось прорыть к месту строительства пресноводный канал с питьевой водой из Нила. Оно освободило компанию от всевозможных налогов и предоставило в ее распоряжение огромное число рабочих. На строительстве канала работало около 40 тыс. чел., из них $\frac{4}{5}$ составляли феллахи, порабощенные египетскими феодалами.

Все работы вели вручную, механизацию не применяли, так как ручной труд был для капиталистов выгоднее. От непосильного труда, жары и голода на строительстве Суэцкого канала умерло, по официальным, но значительно заниженным сведениям, более 20 тыс. человек.

Общие затраты на строительство канала составили колоссальную сумму — 400 млн. франков. Строительство легло тяжелым бременем на плечи египетского народа. В 1875 г. Англия воспользовалась острым

финансовым кризисом в Египте и выкупила египетскую часть акций за 4 млн. фунтов стерлингов. С этих пор «Всеобщая компания Суэцкого канала» попала в полную зависимость от Англии, которая стала безраздельно контролировать важнейшую морскую торговую артерию.

В 1885 г. Англия после захвата Египта установила военный контроль на Суэцком канале.

После открытия Суэцкого канала плавание вокруг Африки мимо мыса Доброй Надежды становилось излишним, сообщение безопасным, коротким и дешевым. Путь из Европы в страны Востока сократился на тысячи километров, в том числе в Индию почти на 5 тыс. км, в Китай — на 5,6 тыс. км, а для удаленных портов на 8—15 тыс. км [32].

Об огромной интенсивности морского судоходства через Суэцкий канал свидетельствуют цифры судооборота Суэцкого канала: За период с 1870 по 1917 г. количество судов, ежегодно проходящих через канал, возросло с 486 до 2353, а тоннаж судов увеличился соответственно с 436 до 8368 регистровых тыс. т [32].

Весьма важное экономическое, а главное — военно-стратегическое для США значение имел открытый в 1914 г. Панамский канал в Центральной Америке, проложенный через Панамский перешеек в его наиболее узкой и низкой части и связавший Атлантический и Тихий океаны. Длина канала 81,6 км, в том числе 65,2 км он проходит по суше и 16,4 км составляет его фарватер, проложенный по дну Панамской и Лимонской бухт. Наименьшая ширина по дну составляет 91,5 м, по на большей части трассы она превышает 100 м. Нормальная глубина канала около 13,5 м, на плузах она уменьшается до 12,5 м. Водораздельный участок канала лежит на высоте 25,9 м над средним уровнем океана. Суда поднимаются на эту высоту с помощью шести ступеней (по три на каждом склоне) плузов. Каждый из них поднимает судно на 8,6 м. Длина плузовых камер 305 м, ширина 33,5 м. Благодаря тому что все плузы ларные, движение осуществляется одновременно в двух направлениях.

Строительство Панамского канала началось по инициативе уже упоминавшегося Ф. Лессепса, заработавшего огромные капиталы при сооружении Суэцкого канала. План Лессепса встретил горячую поддержку во Франции. В результате в 1879 г. была создана «Всеобщая компания по строительству межокеанского канала». Однако финансовые дела этой компании, понаехав в руки капиталистических дельцов, интересовавшихся больше личной наживой, вскоре оказались в критическом положении в результате протывставших хищений, взяточничества и мошенничества. Огромное противодействие компании оказывали США, делавшие все возможное, чтобы поставить строительство канала под свой контроль. В результате «Всеобщая компания по строительству межокеанского канала» в 1889 г. обанкротилась и прекратила работы.

В 1894 г. была образована «Новая компания Панамского канала». Однако хозяева этой компании, учитывая давление США, думали больше не о строительстве, а о том, как бы поновее продать концессию на постройку канала и проведенную предшествующей компанией работу. Испано-американская война 1898 г., в результате которой США подчинили себе Филиппинские острова, Кубу и Пуэрто-Рико, еще больше усилила стремление США взять в свои руки строительство канала. Захватническая политика империализма США в Западном полушарии вызвала необхо-

димость быстрой переброски своего военно-морского флота из одного океана в другой. Это было возможно лишь по кратчайшему пути, который открывал Панамский канал.

В 1901 г. США заключили договор с Англией, по которому они получили исключительное право «сооружать, а также регулировать и контролировать канал». После провозглашения в 1903 г. Панами самостоятельным государством, ставшем возможным в результате упорной освободительной борьбы панамского народа (она отделилась от Колумбии), США навязали молодому государству кабальный договор. Договор устанавливал вечную монополию США на все пути сообщения на территории Панама, в том числе на канал, связывающий два океана. По договору Панама на своей собственной земле без разрешения правительства США не могла строить каналы и железные дороги.

Строительство канала было начато в 1904 г. Оно осуществлялось военным министерством США. В 1914 г. сооружение канала было в основном завершено. 15 августа 1914 г. по нему прошло первое судно. Однако из-за происшедших оползней работы на канале продолжались еще в течение одного года.

Панамский канал резко сократил расстояния между портами западного и восточного побережий Американского континента и время следования судов. Так, для США и Канады расстояния между портами уменьшились в 2,5—3 раза. Значительно сократились расстояния между портами восточного побережья США и странами Дальнего Востока. Панамский канал изменил направление ряда морских путей. Время прохождения судов через канал не превышает 8 ч, из которых 3 ч приходится на шлюзование. Максимальная пропускная способность канала 48 судов в сутки. Эскадра в 100 военных кораблей может быть перебросена по Панамскому каналу из одного океана в другой за двое суток.

В техническом отношении Панамский канал представляет одно из крупнейших гидротехнических сооружений начала XX в. По общему земляным работ, составивших около 150 млн. м³, и сложности прокладки трассы он значительно превосходит Суэцкий и Кильский каналы.

За 35 лет, в течение которых строился канал, Франция и США затратили на него почти 70 млн. долл.

Строительство Панамского канала сопровождалось беспощадной эксплуатацией рабочих. Их посылали большими партиями в тропические болотистые леса без необходимого медицинского обслуживания. Эпидемии желтой лихорадки и малярии унесли жизни многих людей. За время строительства Панамского канала погибло более 60 тыс. чел. Каждый метр канала стоил жизни одного рабочего и обошелся в 10 тыс. долл. [33].

Каналы существенно повлияли на процесс сокращения парусного флота, так как в условиях узких каналов маневр судна был затруднен, что почти лишало парусники возможности идти по ним своим ходом. В 1871 г. суммарный тоннаж парусного флота насчитывал 15,3 млн. регистровых т, к 1914 г. он сократился до 3,7 млн. регистровых т. За этот же период суммарный тоннаж парового флота увеличился в 2,4 и до 45,4 млн. регистровых т, т. е. в 18,9 раза.

Таким образом, в рассматриваемый период произошло несколько революционных изменений в конструкциях и методах управления, а также источников первичной энергии на водных средствах транспорта. За от-

носительно короткий срок на замену парусным деревянным судам с незначительной скоростью и маневренностью пришли огромные металлические корабли, оснащенные паровыми, а затем турбинными и дизельными двигателями.

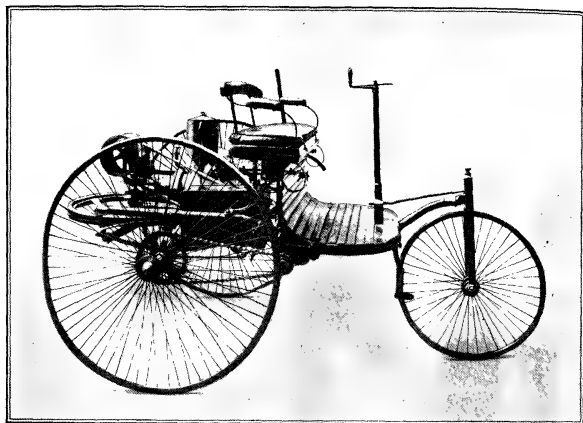
4. ЗАРОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Идея использования двигателя внутреннего сгорания для безрельсового транспорта впервые была высказана в 1862 г. французским инженером А. Бо де Роша, но была воплощена немецкими изобретателями З. Маркусом в 1875 г. и Н. Отто в 1876 г. В качестве горючего использовали газ. В 1888 г. русский инженер О. С. Костович подал заявку, а в 1892 г. получил привилегию на бензиновый карбюраторный двигатель, который он предполагал установить на дирижабле «Россия».

Использование бензинового двигателя для передвижения автомобиля началось с 1885 г., когда немецкий изобретатель Г. Даймлер взял на него патент, причем в качестве сферы его применения, кроме автомобиля, указывались мотоциклы и моторные лодки. Мощность первого двухцилиндрового двигателя Даймлера была около 0,75 л.с. при 800 об/мин. Г. Даймлер приступил к конструированию легкового автомобиля на базе созданного мотора и построил его в 1885 г. В следующем году он создал второй четырехколесный автомобиль с бензиновым двигателем, развивавшим скорость до 18 км/ч. Примерно в одно время с Даймлером успешную попытку решить проблему автомобиля предпринял его соотечественник К. Бенц, трехколесный автомобиль которого развивал скорость до 15 км/ч. Конечно, первые успешно испытанные автомобили качественно не превосходили электромобили и паромобили, а технические характеристики автомобилей и паровозов были просто несоизмеримы (скорость соответственно менее 2 и более 200 км/ч). Тем не менее именно эти несовершенные экипажи с двигателями внутреннего сгорания стали первенцами отрасли, впоследствии многие десятилетия определявшей и до сих пор в значительной мере определяющей технический прогресс в области металлообработки и организации промышленного производства [34, с. 7].

Первые автомобили внешне напоминали обычные конные повозки и назывались первоначально «безлошадные повозки». В 1893 г. американский изобретатель Д. Ф. Дьюра привез свой автомобиль с бензиновым двигателем на место проведения первого испытания с помощью лошадей, и это не вызвало ни у кого никакого интереса или неодобрения. В автомобилях использовали элементы устройств других транспортных средств. За основу был взят обычный конный экипаж (первоначальный кузов автомобиля, рессоры и пр.), у велосипеда была заимствована ценная передача в качестве первоначального привода, шины сначала были сплошными, а с 90-х годов их стали делать пневматическими (первые пневматические шины изобретены в Англии Р. Томпсоном в 1845 г.). У паровых повозок был заимствован дифференциал (изобретен в 1828 г. французом О. Пеккёром) [2, с. 419].

В конце XIX в. опыты по созданию автомобиля получили широкое распространение. Их конструированием занимались не только Г. Даймлер и К. Бенц в Германии, но и Д. Ф. Дьюра, Р. Е. Олде, А. Винтон, Г. Форд



Первый автомобиль Карла Бенца (Германия, 1885—1886 гг.)

в США. Эксперименты над созданием автомобилей, паромобилей и электромобилей проводили в разных масштабах. В это время направление развития безрельсового сухопутного транспорта еще не определилось, более того, будущие автомобили тогда занимали достаточно скромное место по отношению к электро- и паромобилям. В 1899 г. в США были выпущены 4172 безрельсовых транспортных средства, в том числе 1661 паромобиль, 1575 электромобилей и лишь 936 автомобилей.

Однако после первых успешных испытаний автомобилей с двигателями внутреннего сгорания они все более и более привлекали внимание не только конструкторов, но и предпринимателей. В результате автомобили быстро совершенствовались. Первые карбюраторы, сконструированные в 70-х годах, заменялись более прогрессивными карбюраторами поплавкового типа, в конце 80-х годов были созданы магнето, в 1910 г. Ч. Кеттеринг создал электрический стартер и т. д. Первоначально работы проводили отдельные изобретатели, которые очень мало или ничего не знали о других, работавших в этой же области. Так, Даймлер и Бенц не обменивались никакой технической информацией, хотя жили вблизи друг от друга. Точно так же ничего не знали друг о друге жившие неподалеку Дьюра и Максим, Поуп и Винтон и т. д.

Положение несколько изменилось с того времени, когда изобретатели стали демонстрировать и рекламировать свои автомобили, чему особенно

способствовали автомобильные гонки, проведенные впервые в 1894 г. во Франции. Правда, на этих гонках из 102 машин, оснащенных 29 типами двигателей, более половины не смогли сдвинуться с места. В конце концов к финишу пришли 13 автомобилей с бензиновым двигателем (из 14, принявших участие в гонках) и 2 — с паровыми двигателями (из 7 участвовавших). Это можно было бы назвать началом конца парового автомобилестроения, но тогда это еще не было ясно. Первое место занял французский автомобиль с двигателем Даймлера, развивавший скорость до 20 км/ч.

Вначале при поисках оптимальных типов автомобилей в основном совершенствовали собственно автомобили, а двигатель использовали уже известного и относительно распространенного тогда типа. Например, двигатели Даймлера и Бенца использовали в десятках вариантов машин различных фирм и изобретателей, работавших в разных странах.

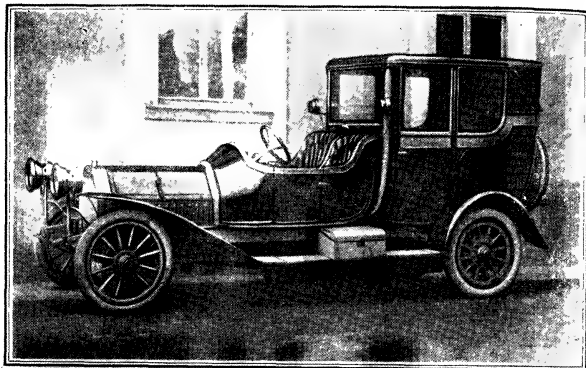
О победе автомобилестроения в полной мере можно говорить только с того момента, когда уже была создана достаточно совершенная система производства этого вида транспорта. Первые автомобильные заводы были построены еще в 90-х годах XIX в.: в 1896 г. в Айзенахе (Германия), в том же году — в Спрингфилде (США), в 1897 г. — в Копршвинине (ныне Чехословакия), в 1899 г. — в Турине (Италия) и т. д. Однако строительство автомобилей было полукустарным. Например, в США в 1899 г. было свыше 50 автомобильных фирм, каждая из которых выпускала в год от десятка до 200 автомашин.

В России делались попытки наладить производство автомобилей в начале XX в. (завод предпринимателя И. П. Пузырева в Петербурге). С 1908 г. автомобили стали выпускать на Русско-Балтийском заводе (г. Рига). До 1916 г. было изготовлено 450 таких машин [22, с. 249].

Подлинный перелом в развитии автомобильного транспорта наступил после создания в 1902 г. в США Г. Фордом фирмы «Ford Motor». Форд начал свою конструкторскую и предпринимательскую деятельность в 1896 г. В 1892—1893 гг. он создает свой первый автомобиль с 4-тактным двигателем внутреннего сгорания мощностью 4 л. с. Но конструкции его автомобилей были неудачны. Первый автомобиль конструкции Форда был продан лишь в 1903 г. Вскоре компания «Ford Motor» начала конкурировать с другими, уже популярными тогда фирмами. Начав с «Модели А», Форд в 1908 г. предложил уже «Модель Т», улучшив предыдущую свою «Модель П», которая имела неплохой финансовый успех. «Модель Т» вывела эту фирму в лидеры автомобильной промышленности США [35].

Успех модели был очень велик. К 1915 г. был выпущен миллионный, а в 1924 г. — десятиллионный экземпляр «Модели Т». Выпуск этой модели продолжался до 1927 г. и превысил 15 млн. штук. На автомобили были применены такие новшества, как планетарная передача и усовершенствованное магнето. Финансовый успех модели объясняется не только удачной компоновкой автомобиля и его техническим совершенством, но прежде всего всемерным использованием принципа массового поточного производства, позволившим снизить трудоемкость изготовления автомобиля. Для примера приведем такие данные: при переходе на этот принцип трудоемкость одного такого автомобиля снизилась с 4664 рабочих часов в 1912 г. до 2375 — в 1916 г. и 813 — в 1923 г.

Массовое производство изобретено не Г. Фордом, а инженерами его предприятия. Этот процесс был усовершенствован и интенсифицирован.



Автомобиль фирмы «Хорх» (Германия, начало XX в.)

Все сборочные линии были превращены в жестко связанные между собой механизмы с принудительным ритмом работы. Если раньше рабочий переходил от одного обрабатываемого блока к другому, то теперь эти блоки подвозили к рабочему один за другим. В результате рабочий стал не только придатком машины, но частью этой машины. Именно Форд начал процесс интенсификации производства, который теоретически обосновал Тейлор в книге «Управление предприятием». В конце 30-х годов буржуазная президентская комиссия, ознакомившись с интенсивностью работы на автомобильных предприятиях США, вынуждена была признать, что «она превосходит пределы человеческих сил и возможностей».

Фордизм — эта современная буржуазная система, включающая методы организации труда и управления производством, был создан с целью получения капиталистами наибольшей прибавочной стоимости на основе максимального повышения интенсивности и производительности труда рабочих.

Переход к массовому поточному производству автомобилей позволил резко увеличить прибыли. Например, доход «Ford Motors» поднялся с 1,8 млн. долл. в 1909 г. до 11,2 млн. долл. в 1913 г. при условии, что цена автомобиля снизилась за этот период на 40%. Все это, дополненное обширным рынком, обусловило рост объема производства автомобильной промышленности: в 1904 г. в США было выпущено около 22 тыс., а в 1929 г. 5293 тыс. автомобилей [36].

Мелкие и полукустарные автомобильные заводы превращаются в начале XX в. в крупные промышленные предприятия. Среди них все-

мирную известность получили в США, кроме уже упоминавшейся фирмы «Ford Motors», также «General Motors» (1916 г.), во Франции «Renault» (1895 г.) и «Peugeot Automobiles» (1896 г.), в Италии «Fiat» (1899 г.), Англии «Leyland Motors» (1919 г.) и ряд других.

Автомобильная промышленность уже перед первой мировой войной влияла на прогресс во всех отраслях техники. Увеличение объемов производства автомобилей в связи с этим заказы на необходимые оборудование, материалы, комплектующие изделия, полуфабрикаты и прочее связали с этой отраслью не только огромное число рабочих и инженеров, но и большое число предприятий, прямо или косвенно зависящих от масштабов автомобильного производства.

Мировая война подчеркнула еще одну сторону развития автомобилестроения — стратегическую. Известно, как французы смогли во время наступления на Марне перевести во фланг немецкой армии целую пехотную дивизию, используя для этого парижские такси. Это был первый пример массового использования автомобильного транспорта в военных целях. В дальнейшем любые боевые действия всегда предусматривали и соответствующее обеспечение автомобильным транспортом.

Автомобильная промышленность дала нам примеры невиданного темпа технического развития — за каких-то два десятилетия автомобиль из малоподвижной «безлошадной повозки» превратился в надежное, технически совершенное, элегантное и экономичное средство транспорта, во в то же время проявились крайне негативные стороны развития техники при капитализме — максимальная интенсификация производства, полное подчинение человека машине. Именно автомобильная промышленность стала классической отраслью чрезмерной эксплуатации человека человеком, отраслью, в которой любое изменение в структуре и формах организации производства определялось стремлением капиталистов получить максимальную выгоду, прежде всего финансовую.

Улучшение железнодорожного и водного транспорта, создание автомобильной промышленности способствовали проявлению одной из особенностей капитализма — иммиграции рабочих. В. И. Ленин указывал, что «быстро развивающиеся в промышленном отношении страны, вводя большие машин, вытесняя остальные страны с мирового рынка, поднимают заработную плату выше среднего и привлекают наемных рабочих из остальных стран»¹⁰. Так, только в течение пяти лет (с 1905 по 1909 г.) в США переселилось в среднем свыше одного миллиона человек в год. Германия к этому времени стала также поглощать большое количество иностранных рабочих. Если до 1890 г. из Германии уезжало рабочих больше, чем приезжало, то, начиная с того времени, когда в этой стране стала особенно быстро развиваться капиталистическая экономика, сюда устремился большой поток иммигрантов. В 1911—1912 гг. число иностранных рабочих составляло 729 тыс. человек.

Наиболее интенсивным был процесс выезда рабочих из остальных стран, где еще сохранились остатки крепостничества и феодализма. Из этих стран уезжали наиболее способные рабочие, однако в развитых капиталистических странах их использовали на простой, малооплачиваемой работе, в сельском хозяйстве, в трудоемких ручных производст-

¹⁰ Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 24, с. 89.

вах. В. И. Ленин, говоря об этих процессах, писал: «Россия все более отстает, отдавая за границу часть лучших своих рабочих; Америка все быстрее идет вперед, беря со всего мира наиболее энергичное, способное к труду рабочее население»¹¹.

Таким образом, железные дороги и водный транспорт обеспечивали возросшие в период империализма экономические связи между отдельными странами.

5. УСПЕХИ В МОСТОСТРОЕНИИ

Бурное развитие железнодорожного строительства, охватившего многие страны, оказало огромное влияние на мостостроение. Сооружение мостов стало важнейшей технической проблемой, в известной степени определявшей прогресс железнодорожного строительства и эффективность железнодорожного транспорта.

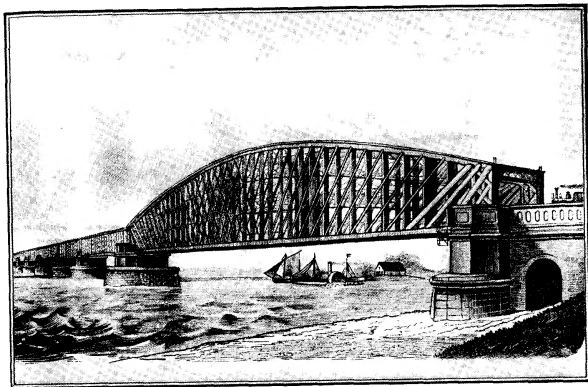
Особенно большие трудности приходилось преодолевать мостостроителям при перекрытии широких водных артерий. Среди крупных мостов необходимо назвать мост, которым была перекрыта река Рейн в районе Кельна, протяженностью 650 м. Через Дунай у Будапешта был построен мост длиной 970 м, на Волге под Сызранью — 1050 м и на Миссисипи в Сан Луисе 1070 м.

Увеличение пролетности проезжего строения вызвало необходимость снижения его погонного веса (т/м) и повышения сопротивляемости ветровым нагрузкам. Кроме того, увеличение за это время веса паровозов с 37 до 60 т и более и скорости движения поставило перед мостостроителями еще и проблему усиления проезжего строения [37, с. 82, 85; 38, с. 252].

Наконец, участвовавшие катастрофы на мостах вызвали необходимость разработки научно обоснованных методов расчета, начавших вытеснять господствовавшие до того грубо эмпирические приемы. Особенно сенсационными были крушения мостов: в 1876 г. у города Аштабюла через реку того же названия (США), в 1879 г. на реке Тэй у города Данди (Англия) и в 1894 г. через реку Бирс около деревни Менхенштейн (Швейцария) [39, с. 7—20, 24—31].

Причины разрушения мостов были различные. Нередко они были связаны с желанием проектировщиков и строителей сэкономить побольше материалов и денежных средств. Так, при сооружении Тэйского моста строители, стремясь сэкономить на опорах, которых этот мост при длине 3622,5 м насчитывал 83, нарушили проектные данные и увеличили длину ферм с 60 до 74,7 м. В результате того что в конструкции ферм не были внесены необходимые изменения, мост на реке Тэй рухнул [39, с. 173].

Инженеры стремились увеличить пролетность мостов. Обычно применяя до того деревянная балочная форма Тауна, которая в средней части пролета была значительно слабее, чем у точек опоры, оказалась непригодной при пролетах более 45 м, даже выполненных из металла. Большей устойчивостью обладала система Гау. Ее использование дало возможность построить через реку Лек у Квильдентбурга (Голландия) мост пролетом 154 м. Этот мост положил начало строительству подобных



Мост в Голландии (вторая половина XIX в.)

конструкций, ставших известными во всех странах под названием голландской системы [37, с. 204].

Осуществленные строителями усовершенствования конструкции решетки не могли преодолеть основного недостатка балочного решения — ограниченность сопротивления поперечному изгибу. Построенный в 1912 г. через реку Рейн у города Рурорта мост пролетом в 186 м оказался пределом [37, с. 210].

Дальнейшее развитие мостостроения стало возможным лишь на основе разработки принципиально новых конструкций: распорной арочной, висячей и консольной.

Железо позволило конструкторам отойти от традиционной формы арки в виде дуги окружности, подсказанной практикой строительства каменных мостов, и применять самые разнообразные очертания. Инженер Г. Эйфель, сыгравший большую роль в развитии металлического мостостроения, в поисках формы, наиболее соответствующей требованиям статiki сооружений, на основе многочисленных исследований пришел к выводу, что наиболее рациональным профилем является параболический, и смело применил их в своих мостах в Рио-Кри и Дуро, а также в виадуке Гараби пролетом в 165 м, построенном в 1884 г. [37, с. 210—211].

Замена в 70-х годах XIX в. господствовавшего в арочном мостостроении чугуна сварочным железом позволила достигнуть пролетов 160 м, а с переходом на литое железо эта величина возросла до 205 м. Это было реализовано в 1898 г. при строительстве моста через Ниагару. В стремле-

¹¹ Ленин В. И. Там же, с. 91.

нии преодолеть зависимость арочных конструкций от прочных скалистых опор на берегах в арках применили затяжку. С ее помощью в 1915 г. пролет моста через Ист-Ривер у города Хэлл Кэйт достиг 390 м [37, с. 212].

Однако решетчатая арка не устранила принципиального недостатка всех стержневых конструкций — гибкости их элементов, испытывающих продольное сжатие. А между тем катастрофа балочного Аштабильского моста обнаружила роковую роль недостаточной устойчивости на продольный изгиб сжатых раскосов и всего верхнего пояса. Это побудило инженеров обратиться к висячим решениям, в которых основные несущие элементы (цепи, ванты, тросы) работали в наибольшем соответствии со специфическим свойством железа, — лучше всего работать на чистое растяжение.

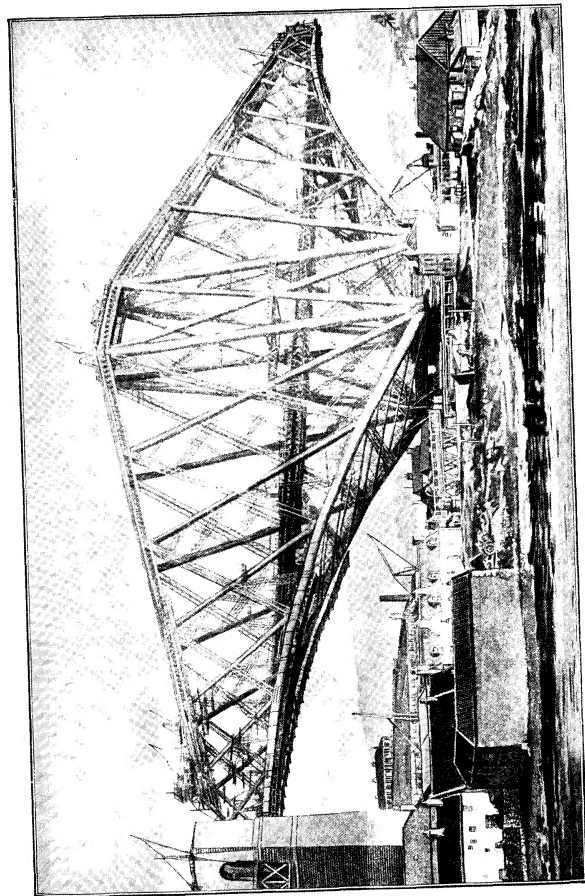
После крушения в 1854 и в 1864 гг. висячих мостов через Ниагару в инженерной среде началась дискуссия — можно ли эту систему применять в железнодорожном транспорте, где ее гибкость явно не соответствует динамическому характеру больших нагрузок [40, с. 234—235]. И только исследования немецкого ученого К. Кульмана показали, что правильно подобранная ферма жесткости может открыть висячим мостам безопасный путь в железнодорожное строительство. Он подсчитал, что ферма должна иметь такое же поперечное сечение, какое потребовала бы конструкция обычного стержневого балочного моста, но для пролета вдвое меньшей величины.

Из действовавших мостов этого типа заслуживает внимания построенный в 1854 г. инженером Реблингом 200-метровый мост через Ниагару, в котором первоначальные деревянные двухъярусные фермы жесткости были заменены в 1877 г. железными. Но при перестройке в 1897 г. сочли целесообразным выполнить его в арочной системе [41, с. 141—142].

Переход от клепаных вантов к плетеным из проволоки кабелям позволил тому же Реблингу в 1869 г. при сооружении Бруклинского моста (Нью-Йорк) увеличить его пролет до 486,5 м. Однако неуверенность и самого инженера и муниципалитета в прочности этого сооружения побудили ограничить транспортную нагрузку.

Большие пролетные возможности открывала консольная конструкция. Лежащая в ее основе идея увеличить пролет балки с опорой не на вертикальный устой, а на укрепленную на этом устое консоль ведет свою историю от плотников первобытного общества. В металлическом мостостроении ее использовал в 60-х годах XIX в. немецкий инженер Гербер [37, с. 212]. По этой системе англичане Беккер и Фаулер в 1883—1890 гг. построили мост через Фортский пролив. Опубликованная тогда же в журнале «Инженеринг» антропоморфная его схема дает ясное представление о механизме этого сооружения [38, с. 127—128]. Уложив 107-метровые балки на пару консолей выносом в 207 м каждая, они смогли получить пролет в 521 м. Его удалось превзойти только строителям такого же моста в Квебеке (Канада, 1916 г.) с выносом консолей 181 м и балкой 187 м [39, с. 47, 59].

Беккер и Фаулер воспользовались трубчатыми стержнями, но только не четырехгранного, как Стефенсон, а круглого сечения. Это были трубы диаметром 3,7 м, склепанные из толстых листов стали. Из них соорудили гигантские пилоны с симметрично приклепанными к ним огромными консолями [41, с. 124, 125; 42, с. 21, 22].



Фортский мост (Шотландия, 80-е годы XIX в.)

Шедвер предыдущего периода — мост Роберта Стефенсона «Британия», представлявший собой сплошную металлическую трубу прямоугольного сечения, обладал огромным удельным весом 12,5 т/м и предъявлял большие требования к опорам, испытывавшим нагрузку 81 т/м². Это заставило впоследствии строителей заменить сплошную стенку решеткой, которая уменьшила оба весовых показателя почти вдвое. Основоложником новой системы стал английский инженер Бартон, который воспроизвел в металле, как уже отмечалось выше, многорешетчатую ферму Тауна при строительстве моста через реку Бойя около Дроухеда. Его мост положило начало победному шествию сквозной балочной конструкции [37, с. 202—203].

Стремление снизить вес мостов привлекло внимание инженеров к неразрезной, т. е. многоопорной, балке, к балочной ферме, которая давала экономно материала по сравнению с разрезной (двухопорной) балкой до 12%. Замечательным сооружением этой системы был уже упомянутый стейфеновский мост «Британия», содержавший три промежуточные опоры.

Рост пролетности, даже сквозных стержневых мостов, обладавших меньшей парусностью, чем сплошные трубчатые, обострил необходимость учитывать ветровые нагрузки. До 70-х годов XIX в. считали, что для пролетов менее 60 м эти нагрузки не опасны и поэтому учитывать их необязательно. Катастрофа Тайского моста показала роковую ошибочность недооценки этого [39, с. 7—20]. Хотя 35-метровые сухоходные пролеты и были рассчитаны на ветровую нагрузку, но давление было принято всего лишь 47 кг/м². Между тем в день крушения при скорости ветра 144 км/ч его давление достигло 188 кг/м². И оно обрушилось на огромную поверхность опор (73 м²), ферм (320 м²) и поезда (110 м²). Тайская катастрофа побудила вводить в конструкцию ферм поперечные скрепления, оказывающие сопротивление горизонтальным усилиям и предохраняющие сжатые пояса от бокового выгиба. После длительного периода эмпирических исканий, начавшихся под впечатлением этого события, немецкий теоретик Мюллер-Бреслау разработал приемы их точного расчета [40, с. 372].

С утяжелением подвижного состава и повышением скорости транспорта возникла проблема упрочнения конструкции. Было обращено внимание на механические качества материалов, подбор конструктивных элементов и композиций в соответствии с предполагаемыми нагрузками, повышение надежности монтажных соединений и предварительные испытания сооружений.

Значение всего этого наглядно иллюстрируется результатами технических экспертиз крушения Менхенштейнского моста [39, с. 28—30]. Одной из причин катастрофы было то, что вместо металла с прочностью 3200 кг/см² и пределом упругости 1500 кг/см², требовавшегося по расчетам, применяли материал существенно с показателями 2600 кг/см² и 1000 кг/см². Кроме того, надежность заклепочных соединений подсчитали грубо, т. е. без вычета ослабляющих конструкции отверстий под заклепки. Сечение средних сжатых раскосов, составленных из двух расположенных крестообразно уголков, и их эквивалентическое, а не центровое при соединении к поясам, игнорирование знакопеременной нагрузки (чередующиеся напряжения на растяжение и на сжатие) и слабое сопротивление тонких сжатых стержней продольному изгибу привели к тому, что запас

прочности снизился до 75% от требуемой в те времена нормы. Наконец, испытание было проведено не до введения моста в эксплуатацию, а уже через несколько месяцев после этого. Более того, его осуществляли не статической нагрузкой 6 паровозами, а однократным пропуском поезда по расписанию на обычной эксплуатационной скорости.

Динамический характер нагрузки железнодорожных мостов обнаружил непригодность болтового соединения деталей, которое из-за быстроты своего выполнения получило в первое время преобладание над заклепочным соединением. Мостовые катастрофы 70-х годов XIX в. происходили под влиянием динамических (удары) нагрузок подвижного состава на несущие элементы мостов. Это заставило вернуться к предпочтительному Стефенсоном заклепочному шву, несмотря на то что он был и более трудоемким и более медленным. Однако исследования нашего соотечественника Д. И. Журавского показали пути усовершенствования, которые сделали заклепочный шов господствующим в мостостроении вплоть до применения в этой области несколько позже метода сварки [40, с. 174].

Быстрое развитие милитаризма, начавшееся с франко-прусской войны 1870—1871 гг. и достигшее своего апогея к первой империалистической войне, поставило перед железнодорожными мостостроителями новую задачу — разработку сборно-разборных конструкций военного назначения. Наиболее совершенными оказались решения строителя знаменитой парижской башни, инженера Г. Эйфеля, который использовал ферму с треугольной решеткой. Однако наш отечественный инженер Е. О. Патон разработал более легкую, более дешевую и быстрее выполняемую двухрешетчатую конструкцию. По сравнению с фермой Эйфеля она давала экономию на количестве основных компонентов в 2,3 раза, на мелких соединительных частях в 7,2 раза, на болтах 25%. Вес ее пролетного строения составлял 52% от веса конструкции, предложенной Эйфелем [23, с. 70].

На развитие инженерной науки оказали большое влияние мостовые катастрофы. Так, швейцарское правительство после разрушения Менхенштейнского моста привлекло к исследованию причин этой катастрофы таких выдающихся специалистов по строительной механике, как ученые Риттер, Тетмайер и Энгессер.

Построенный немецким инженером Ленце почти одновременно со стейфеновской «Британией» трубчатый мост через Вислу в Диршау имел уже не сплошную, а стержневую конструкцию [41, с. 117—118]. Его сооружение привлекло внимание инженеров к методу расчета продольной устойчивости длинных гибких элементов большой деформации обнаружили, что формула продольного изгиба, разработанная еще в 1757 г. Эйлером, действительна только для стержней большой длины, а при малых длинах дает неточные результаты [40, с. 46, 252—253]. Анализ катастрофы Менхенштейнского моста показал, что действительное напряжение составило всего 78% найденного расчетом по этой формуле. Английский ученый Макуорн Ранкин в 1899 г. проанализировал формулу Эйлера и предложил свою редакцию. «Вышедшее некоторое время тому назад из употребления, — писал он про формулы, предложенные Трегольдом и Ходкинсоном, — ныне пересмотрены М. Льюисом Гордоном, который путем сопоставления их с результатами испытаний Ходкинсона нашел значения входящих в них постоянных» [40, с. 253]. Швейцарский ученый Л. Тет-

майер, продолжая эти исследования, установил в 1901 г., что формулой Эйлера можно пользоваться только в тех случаях, когда гибкость, т. е. отношение свободной длины стержня к радиусу инерции его сечения превышает 110. Для более же коротких образцов предложил другую формулу, которая впоследствии нашла широкое применение [40, с. 253].

Большой вклад в обоснование причин продольного изгиба сделал в 1892 г. наш отечественный инженер Ф. С. Ясинский. Исследуя происшедшие тогда крушения открытых мостов, т. е. мостов, не имевших верхних горизонтальных связей, он заинтересовался влиянием растянутых раскосов на сжатие в многорешетчатых мостах, имевших две системы раскосов, одна из которых работала на сжатие, а другая на растяжение. Результаты своих исследований он опубликовал в 1893 г. в труде «Опыт развития теории продольного изгиба» [40, с. 353]. Ф. С. Ясинский составил таблицы, которые использовались до 1939 г., когда академик А. Н. Динник предложил новые.

По выявлению причин менхенштейнской катастрофы был приглашен в качестве эксперта А. Риттер, работавший в то время над упрощением предложенного его соотечественником И. В. Шведером способа анализа ферм, получившего название метода сечений [40, с. 230, 231, 364]. Этот способ состоял в вычислении изгибающего момента и перерезывающей силы в трех взаимно пересекающихся стержнях (двух поясов и раскоса). Он давал возможность установить границы того участка фермы, где требуются два раскоса, если эти раскосы могут работать лишь на одно растяжение или на одно сжатие. Риттер нашел, что для вычисления усилий в стержнях, перерезываемых этим воображаемым сечением, достаточно составить и решить уравнения моментов только двух стержней и трех пересекаемых. При этом оказывается достаточно решать каждый раз лишь одно уравнение с одним неизвестным.

Немецкий ученый Ф. Энгессер, работая над границами применения формулы Эйлера, пришел к выводу, что можно расширить эти границы, если заменить в ней постоянный модуль упругости переменной величиной, которую он назвал касательным модулем упругости. Эта величина, в свою очередь, выражала отношение напряжения материала к относительной его деформации, т. е. изменению длины стержня по сравнению с его первоначальными размерами [40, с. 351, 352, 356—359]. Касательный модуль дал Энгессеру возможность вычислять критические напряжения для стержней из материалов, «не подчиняющихся» закону Гука, а также из строительной стали при напряжениях выше предела упругости. В связи с этим предложением у Энгессера возникла дискуссия с Ясинским, который утверждал, что сжимающие напряжения на выпуклой стороне стержня при его выпучивании уменьшаются и что испытания, проведенные Баушгинером, доказывают необходимость пользоваться в этой области поперечного сечения постоянным модулем упругости, а вовсе не касательным модулем [43, с. 214]. Этот спор закончился тем, что Энгессер признал правоту Ясинского, переработал свою теорию и ввел для двух областей поперечного сечения два различных модуля. Исследуя влияние поперечной силы на величину критической нагрузки в стойках, он нашел, что эта величина для сплошных и сквозных решений различна. В сплошных ее влияние мало и им можно пренебречь, а в сквозных оно может оказаться значительным. Энгессер вывел формулы для определения того отношения, при котором

в каждом данном случае следует уменьшать значения эйлеровой критической нагрузки для того, чтобы учесть гибкость элементов решетки.

В истории железнодорожного мостостроения этого периода особенно поучительны двукратное обрушение киевского консольного моста через реку Св. Лаврентия. Обе эти катастрофы произошли во время монтажа сооружения: первая в 1907 г., а вторая в 1916 г. в момент укладки соединительной балки среднего пролета [39, с. 47—52, 59—61].

Основной причиной первой катастрофы были ошибки, допущенные при проектировании. Проектировщики, рассчитав вес консолей и подвесного пролета на 16% меньше действительного, не проверили свое допущение. При этом конструктивные коэффициенты для определения собственного веса, соответствующие проектному пролету 488 м, оставили без изменения, несмотря на увеличение при перепроектировке этой величины до 549 м. Кроме того, тогда еще не знали способа расчета решетки составного элемента, и поэтому решетка нижнего пояса оказалась неспособной соединить четыре мощных ребра в одно жесткое целое. Таким образом, неправильный расчет сжатых частей и неумение рассчитать решетку составных стержней, работающих на продольный изгиб, привели к тому, что реальное напряжение оказалось на 11% выше расчетного.

Причиной второй катастрофы было разрушение одного из балансиров, поднимавших подвесную ферму, вызванное тем, что производители работ небрежно установили этот механизм на конце консоли и он под нагрузкой 2600 Т (вес половины фермы) соскользнул со своей опоры.

В России развитие железнодорожного мостостроения началось в 70-х годах, когда Н. А. Белецкий стал проектировать мосты для Николаевской железной дороги [37, с. 206, 207]. Взяв за образцы голландские решения, он ввел в них крупные усовершенствования. Замена в первой панели нисходящего раскоса, ослабляющего опорный узел, восходящим раскосом, укрепила ополупорную часть фермы. Созданные им мосты на этой дороге, а также через Оку (около Алексина), Волгу (у Сызрани), через Белую (Уфа), и, наконец, на Сибирской железной дороге, положили основание русской школе мостостроения.

Другим замечательным отечественным мостостроителем этой эпохи был Л. Д. Проскуряков, соорудивший мост через Нарву, Западный Буг, Волхов, Оку, Амур, Енисей и Зею. Он впервые у нас в стране применил мостовые фермы с криволинейным верхним поясом и упрощенной шпренгельной решеткой. Всемирную известность получила построенный им в 1896 г. Енисейский мост. Проскурякову принадлежит заслуга использования в России мостов арочной конструкции с затяжкой. Такие мосты успешно применяли на железных дорогах Германии. Шведером Проскурякова является сооруженный им в 1904 г. мост окружной железной дороги через Москву-реку [37, с. 209—214].

Первый консольный мост был построен у нас в 1896 г. через Днепр около с. Рыбницы Богуславским. Наибольший пролет имел Кичкасский мост через Днепр, сооруженный в 1906 г. инженером Лата. Неплотноный проект грандиозного моста через Волгу около Саратова был разработан Г. П. Передериером [37, с. 214].

Всичакие железнодорожных мостов у нас в стране не строили. Возможно, это было вызвано катастрофами, которые происходили в Европе и в Америке в 50-х годах XIX в. Но под нужной транспорт у нас успешно